



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

BIOMETRIE S VYUŽITÍM VIDEOSEKVENCÍ SÍTNICE

BIOMETRY BASED ON RETINAL VIDEOSEQUENCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kamil Oweis

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radim Kolář, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Kamil Oweis

ID: 171629

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Biometrie s využitím videosekvencí sítnice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s principem snímání sítnice pomocí experimentálního videooftalmoskopu a popište vlastnosti dodané sady dat. 2) Navrhněte a popište metodu pro biometrické rozpoznávání osob na základě snímků sítnice. 3) Metodu implementujte a otestujte na dodané sadě dat. 4) Podle výsledků se pokuste metodu upravit za účelem co největší přesnosti metody. 5) Proved'te komplexní testy, výsledky dostatečně popište a diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] DRAHANSKÝ, M., F. ORSÁG, a M. DOLEŽEL. Biometrie, Brno Computer Press, 2011

[2] NIXON, M. a A. AGUADO. Feature Extraction and Image Processing, Elsevier, 2005

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 2.6.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Radim Kolář, Ph.D.

Konzultant:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

ABSTRAKT

Biometrické metody jsou nejmodernější způsob pro rozpoznání a ověření totožnosti osob. Jsou poměrně rychlé, bezpečné a použitelné v různých situacích. V této práci je použita sada snímků oční sítnice získaných použitím video oftalmoskopu. Snímky jsou dále upraveny pro další zpracování, nejprve převedením na černobílý binární obraz, v některých případech pak byla použita binární matice pro popis daného snímku. Poté byla navržena metoda srovnání snímků databáze s referenčním snímkem oční sítnice nazvaná metoda překrytí a posunu. Byla testována sada černobílých a poté i šedých snímků. Všechny výpočty metody byly realizovány v programu Matlab, jehož výsledkem bylo určení nejvíce shodného snímku se snímkem referenčním a vyhodnocení celkové přesnosti programu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sítnice, retina, biometrie, cévní řečiště, bifurkace, identifikace, verifikace, video oftalmoskop, binární matice, binární obraz, Matlab.

ABSTRACT

The biometric methods are the most advanced methods for recognition and verification of person identity. These methods are quite fast, safe and applicable in different situations. In this thesis is used a set of retinal scans taken with a video-ophtalmoscope. These pictures are further modified for next processing, first of all by conversion into black-and-white binary image, in some cases was after that used a binary matrix for description of image. Afterwards was suggested comparison method of images from the database with reference image of the retina: method of overlap and shift. It was tested a set of black-and-white and then also grey images. All method calculations was realized in program Matlab of which outcome was determination of the most congruent image with reference image and evaluation of overall program accuracy.

KEYWORDS

Retina, biometry , retina vessels, bifurcation, identification, verification, video-ophtalmoscope, binary matrix, binary image, Matlab.

OWEIS, Kamil *Biometrie s využitím videosekvencí sítnice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství, 2017. 39 s., 7 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Radim Kolář, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma *Biometrie s využitím videosekvencí sítnice* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne **31. května 2017**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radimu Kolářovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne **31. května 2017**

.....
podpis autora

OBSAH

OBSAH

Obsah	vii
Seznam obrázků.....	ix
Úvod	1
1 Biometrie	2
1.1 Anatomické rysy (markanty)	2
1.2 Biometrické systémy	2
1.3 Historie biometrie	3
1.4 Identita, identifikace, verifikace.....	4
2 Biometrie sítnice.....	6
2.1 Lidské oko.....	6
2.1.1 Oční koule	6
2.1.2 Sítnice	8
2.1.3 Bifurkace	9
2.2 Biometrie sítnice	10
2.3 Videooftalmoskop.....	10
3 DATA.....	12
3.1 Binární obraz.....	13
3.1.1 Histogram.....	15
3.1.2 Prahování.....	16
4 Návrh řešení	17
4.1 Metoda překrytí a posunu	17
4.2 Řešení v programu Matlab pro černobílé snímky.....	20
4.2.1 Metoda překrytí a posunu v programu Matlab	20
4.2.2 Hlavní skript <i>MainScript</i>	21
4.2.3 Funkce CutEdges	23
4.2.4 Funkce SmallOut.....	25
4.2.5 Funkce srovnání	28
4.2.6 Funkce posun a posuninv	29
4.3 Výsledky práce	31
4.4 Aplikace metody na šedotónové snímky	34
5 Závěr	36
Literatura	38
Seznam symbolů, veličin a zkratek.....	39
Příloha 1: Obsah CD.....	40
Příloha 2: Tabulka kritérií	41
Příloha 3: Tabulka kritérií 2.....	42

Příloha 4: šedotónové snímky	43
Příloha 5: černobílé snímky	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr 1. Schéma biometrického systému (Zdroj: [9], zpracování vlastní).....	4
obr 2. Zobrazení sledovaného předmětu na sítnici (Zdroj: [4,9])	7
obr 3. Schématický řez okem (Zdroj: [4]).....	7
obr 4. Schématické zobrazení cév na sítnici (Zdroj: [9])	9
obr 5. Ukázka snímku sítnice.....	12
obr 6. Ukázka snímku sítnice 2	12
obr 7. Ukázka snímku s artefakty.....	13
obr 8. Ukázka rozmazaného snímku.....	13
obr 9. Šedotónový snímek a jeho binární verze 1a	14
obr 10. Šedotónový snímek a jeho binární verze 1b	14
obr 11. Šedotónový snímek a jeho binární verze 2	15
obr 12. Obrázek oční sítnice a její histogram	15
obr 13. Ekvalizovaný snímek a jeho histogram.....	16
obr 14. Snímek před oříznutím.....	18
obr 15. Snímek po oříznutí	18
obr 16. Ukázka překrytí dvou snímků stejné sítnice se vzájemným posunem	19
obr 17. Vývojový diagram hlavního skriptu	21
obr 18. Vývojový diagram funkce <i>CutEdges</i>	23
obr 19. Obrázek bez oříznutí	23
obr 20. Obrázek po oříznutí o 1/10	24
obr 21. Obrázek oříznutý o 1/5	24
obr 22. Vývojový diagram funkce <i>SmallOut</i>	25
obr 23. Snímek před filtrací.....	26
obr 24. Snímek po 2-D mediánové filtraci s maskou 3x3	26
obr 25. Snímek po odstranění drobných shluků	27
obr 26. Vývojový diagram funkce <i>srovnani</i>	28
obr 27. Vývojový diagram funkcí <i>posun</i> a <i>posuninv</i>	29
obr 28. Překrytí dvou totožných snímků	29
obr 29. Překryv 2 různých snímků stejného oka	30
obr 30. Příklad správného přiřazení snímků od stejného pacienta (Study01_00001)	33
obr 31. K referenčnímu pacientovi (Study01_00002) byl přiřazen pacient (Study01_00067).....	33
obr 32. Originální snímek oční sítnice	34
obr 33. Jediná správně nalezená shoda (Study01_00006).....	35

ÚVOD

Novodobý vývoj věd a technologií a rovněž současná společenská situace, která klade čím dál vyšší nároky na možnosti přesného určení jednotlivých osob a jejich verifikaci, podporuje rychlý vývoj biometrických metod identifikace osob.

Existuje celá řada biometrických parametrů, které se dají pro dané účely využít. Mezi ně patří např. otisky prstů, tvar ucha, DNA apod. Každý z nich má své přednosti i nevýhody. To vede k neustálému hledání nových možností, které budou co možná nejpřesnější, bude u nich vysoká eliminace možnosti omylu, dlouhodobá neměnnost parametrů, snadné získání parametrů, rychlá možnost srovnání se zadanými údaji, neinvazivnost metod, co nejnižší náklady na vybavení atd.

Jeden z možných biometrických údajů specifických pro každého člověka je cévní řečiště sítnice. Tento biometrický prvek má vysokou rekognizační hodnotu, protože cévní mapa sítnice je ve své podstatě konstantní v čase.

Tato bakalářská práce se bude zabývat souborem snímků sítnice pacientů pořízených pomocí video oftalmoskopu. Databáze poskytnutých snímků bude převedena na černobílé binární obrazy, které budou dále testovány zvolenou metodou nazvanou „metoda překrytí a posunu“, a výsledkem tedy bude nalezení shody s určitým snímkem. Následně se srovnají názvy snímku pro ověření, zda metoda správně vyhodnotila shodu či neshodu daného snímku. V závěru práce dojde k vyhodnocení úspěšnosti identifikace pacientů na základě černobílých snímků sítnice. Poté bude téže metodě podrobena stejná sada snímků, avšak v šedé verzi.

Tato navržená metoda bude podrobněji popsána v této práci, a bude posouzena její vhodnost dle výsledků pro možnosti identifikace osob. V závěru práce rovněž budou porovnány dosažené výsledky pro sadu snímků převedených na černobílé snímky se sadou snímků v šedé verzi

Pro výpočty bude použit program Matlab.

1 BIOMETRIE

Biometrie (rovněž používaný pojem biometrika) se ve své podstatě snaží o popsání lidského organismu pomocí měřitelných veličin. Základem názvu biometrie jsou dvě řecká slova: „*bios*“, což znamená život, a slovo „*metron*“ překládané jako měřítko. [2,11]

„Biometrie je metoda autentizace, založená na rozpoznávání fyzických charakteristik živé osoby. Metoda vychází z přesvědčení, že některé fyzikální charakteristiky jsou pro každého živého člověka jedinečné a neměnitelné.“ [8]

V IT technologiích se pod výrazem **biometrie** rozumí systém automatizovaného rozpoznávání lidských jedinců při použití metod na porovnávání jejich charakteristických anatomických a behaviorálních rysů. [2,11]

1.1 Anatomické rysy (markanty)

Anatomické rysy, neboli markanty, lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- **fyzické statické** dané anatomickou stavbou těla. Mezi hlavní porovnatelné anatomické markanty patří například otisky prstů, obličej, duhovka, sítnice, termogram ruky, dentální obraz, DNA atd. Tento rys se musí nacházet u každého porovnávaného jedince a zároveň nesmí být lehce změnitelný momentálním stavem jedince. [2,11]

- **behaviorální markanty** jsou naopak **dynamické** a lze sem zařadit chůzi, mimiku či například řeč. Tyto markanty jsou velmi lehce ovlivnitelné vnějšími okolnostmi.

Základem biometrie je předpoklad, že každý z těchto markantů je pro daného jedince jedinečný. [2,11]

1.2 Biometrické systémy

Biometrické systémy mohou být **unimodální** (srovnávající pouze jeden biometrický markant) nebo **multimodální** (porovnávají více biometrických markantů zároveň).

Multimodální biometrické systémy jsou samozřejmě hůře ovlivnitelné a tedy i přesnější a spolehlivější, s čímž však zároveň souvisí i jejich vyšší nároky na složitost a finanční náklady.

Základní charakteristiky biometrických vlastností:

- univerzalita - každý lidský jedinec by měl mít tuto biometrickou vlastnost
- jedinečnost - pro každou lidskou bytost je tato charakteristika vlastní a nelze najít identickou u jiné lidské bytosti
- konstantnost - nesmí být proměnná v čase
- získatelnost - musí být v biometrii kvantitativně měřitelná
- výkonnost - nesmí stárnout a měnit svou výkonnost
- akceptace - přijatelnost snímání dané vlastnosti pro posuzované jedince
- odolnost proti falšování - co možná nejmenší možnost vytvoření falsifikátu
- finanční náklady - pořizovací cena biometrického systému

Pro konkrétní použití určité biometrické vlastnosti je nutné nalézt optimální kombinaci výše uvedených vlastností. Bude záležet na tom, které vlastnosti se upřednostní podle požadavků a situace. [2]

1.3 Historie biometrie

Používání biometrických vlastností se datuje do dávných dob a biometrické rozpoznávání osob je každodenní rutinou. Osoby se vzájemně rozpoznávají na základě obličeje, postavy, hlasu, stylu chůze, řeči a dalších běžných vlastností.

Z historie jsou známy poznatky o používání otisků prstů na keramice pravděpodobně jako podpis již ze 14. století.

Za jednoho ze zakladatelů biometrie ve smyslu, jak ji používáme dnes, lze považovat českého přírodovědce **Jana Evangelistu Purkyně**. V roce 1823 bylo publikováno jeho vědecké pojednání o rozeznávání jednotlivých otisků prstů (**daktyloskopii**).

Ve svém průkopnickém díle poprvé v historii popsal základní vzory papilárních linií na koncových člancích prstů a následně je rozdělil do 9 základních vzorů. V pozdějších letech bylo využito matematických metod pro výpočet počtu variant možností uspořádání těchto papilárních linií. Výsledkem bylo závratné číslo vyjádřené desátou mocninou 64 miliard. Z tohoto výsledku bylo jasné, že je takřka nemožné předpokládat existenci dvou osob se stejnou papilární kresbou. Na rozvoji daktyloskopie se dále pak podílela celá řada vědců a lékařů. [12]

V roce 1865 popsal **Francis Galton** dědičnost fyzických vlastností a později v roce 1869 se stal spoluzakladatelem nauky o dědičných chorobách a vadách plodu. Věnoval se rovněž výzkumu dvojčat. Následně v roce 1880 založil vědní obor **antropometrie**, což je věda založená na měření a záznamu lidských tělesných rozměrů. [2]

Antropometrií se také zabýval **Alphonse Bertillon**, který ji však nazýval „Bertillionáž“. [2]

Zásluhou Francise Galtona, který dále rozvíjel daktyloskopii, bylo její zavedení do policejní praxe pro identifikaci osob.

V dnešní době existuje celá řada biometrických metod používaných pro jednoznačné určení identity jedince.

1.4 Identita, identifikace, verifikace

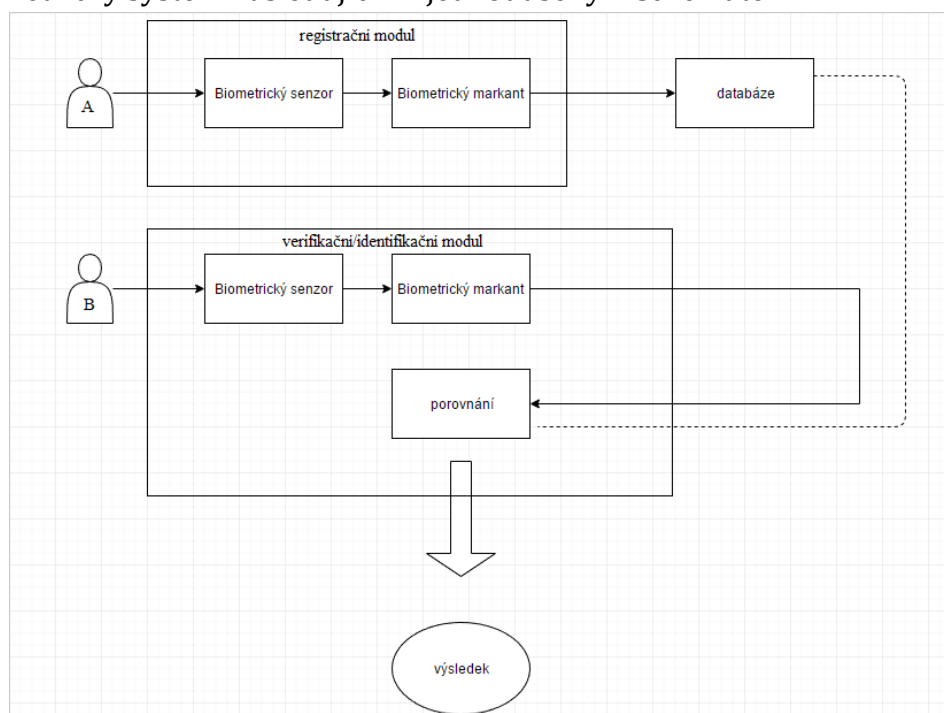
Pojem **identita** vyjadřuje jednoznačnou charakteristiku každého jedince. Fyzická identita jedince je dána jeho vzhledem a chováním. Neexistují dvě shodné fyzické identity.

Identifikace je postup, který slouží ke zjištění identity jedince. Při identifikaci porovnává systém vzorek s uloženou databází vzorků. Výsledkem je pak shoda s určitým vzorkem- nalezená identita či nenalezení žádné shody – identita nenalezena.

Tato metoda je časově náročná, klade i vysoké nároky na kvalitu srovnávaných databází. Identifikace se někdy popisuje jako porovnání 1:N. [2]

Verifikace naopak zná identitu srovnávaného jedince. Po zadání identity jedince, dojde k vyhledání jeho biometrických charakteristik z databáze, které jsou následně porovnány se zadaným vzorkem. Pokud jsou data shodná je výsledkem potvrzení identity. Při nenalezení shody pak platí nepotvrzení identity jedince. Verifikace neboli ověření bývá také nazýváno porovnání 1:1. [2]

V závislosti na požadované identifikaci či verifikaci jedince lze znázornit biometrický systém následujícím zjednodušeným schématem:



obr 1. Schéma biometrického systému (Zdroj: [9], zpracování vlastní)

Registrační modul - biometrický senzor sejme požadovaný vzorek a prostřednictvím dalšího modulu získá ze vzorku požadovaný biometrický markant, který uloží do externí databáze.

Verifikační či identifikační modul funguje stejně, ale získaný biometrický markant se neuloží do databáze, ale je srovnán s biometrickými markanty z databáze. A to tak, že pro identifikaci jedince se srovnává získaný biometrický markant s celou databází biometrických markantů. Pro případ verifikace jedince se srovnává jeho biometrický markant pouze s jedním určitým biometrickým markantem za účelem potvrzení jeho identity. Výsledkem je shoda vzorků či nenalezení shody. [2]

S rozvojem techniky se stále rozšiřují možnosti biometrie. Jednou z novodobých biometrických charakteristik umožňujících vysoce přesnou identifikaci či verifikaci jedince je **oční sítnice**.

2 BIOMETRIE SÍTNICE

První popsaná zjištění, že každý člověk má své individuální specifické cévní řečiště sítnice, pocházejí z roku 1935 a vycházejí ze zkušeností a praxe lékařů Carletona Simona a Isidora Goldsteina. Tyto poznatky dále rozpracoval doktor Paul Tower v padesátých letech 20. století, který se zabýval studiem jednovaječných dvojčat. Z jeho výzkumu vzešlo zjištění, že cévní řečiště sítnice jednovaječných dvojčat se diametrálně liší, ač jiné tělesné aspekty si mohou být velmi podobné.

Na základě těchto objevů bylo jasné, že mapa krevního řečiště oční sítnice je vysoce vhodná pro biometrickou identifikaci a rovněž i verifikaci osob, tedy ověření jejich totožnosti. [1, 2, 3, 13]

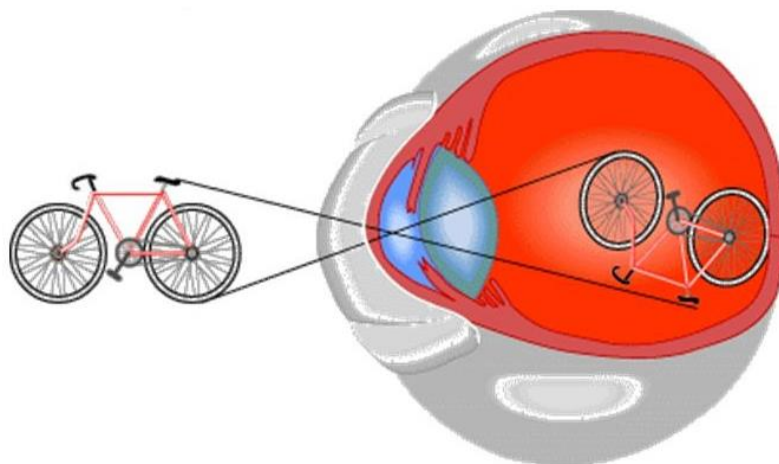
2.1 Lidské oko

Lidské oko je kulovitý párový smyslový orgán o průměru 24 mm, chráněný kostěným obalem očnice. Šest okohybných svalů umožňuje pohyby oka. Jeho hlavní součástí je oční koule se svými přídatnými orgány: slzné žlázy, víčka, spojivky, okohybné svaly.

Funguje jako vstupní brána pro informace z vnějšího prostředí. Informace o podnětu je poté přenesena optickými drahami do mozkové kůry v zadní části hemisfér ke zpracování. [4]

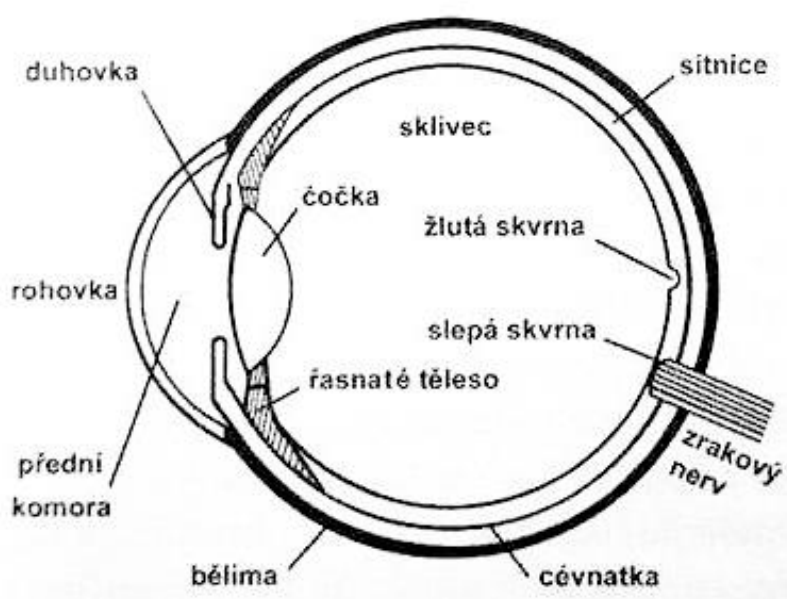
2.1.1 Oční koule

Oční koule obsahuje čtyři různá průhledná optická prostředí s různými indexy lomu světla: rohovku, komorovou vodu, čočku a sklivec. Světlo vstupuje do oka přes rohovku a oční mok, dále pak prochází otvorem v duhovce, oční čočkou, sklívcem a na konec dopadne na sítnici. Obrázek sledované věci je ve výsledku zmenšený a obrácený. [4]



obr 2. Zobrazení sledovaného předmětu na sítnici (Zdroj: [4,9])

Oční koule je mírně asymetrická koule o průměru přibližně 24 mm. V přední komoře je komorová voda. Mezi komorovou vodou a čočkou se nachází duhovka, která zde zaujímá funkci jako clona. Duhovka je důležitá pro zbarvení očí. V jejím středu se nachází otvor o průměru okolo 4 mm - zornice (zřítelnice, pupilla). Její kulovitý tvar je udržován tuhou vazivovou blánou, která se nazývá bělima a nitroočním tlakem, který se pohybuje normálně v rozmezí hodnot 2 kPa až 3 kPa, přičemž optimální hodnota je 2,66 kPa. V přední části oční koule se mění na průhlednou rohovku. Zornice funguje jako clona, která reguluje množství světla dopadajícího na čočku. [1, 3, 6, 9]



obr 3. Schématický řez okem (Zdroj: [4])

Na vnitřní stěně oční koule se rozprostírá cévnatka se svými vyživujícími cévami. V přední části se pak mění na řasnaté těleso, které je zodpovědné za vyklenutí či zploštění čočky (tzv. akomodace čočky), což způsobí změnu ohniskové vzdálenosti v oku, tj. možnost zaostřování na vzdálenější předměty. [4, 9]

2.1.2 Sítňice

Další z vrstev uvnitř oka je síťnice (retina). Tvoří výstelku vnitřní zadní části cévnatky. Její tloušťka se pohybuje v rozmezí 0,2mm až 0,4mm a má 11 vrstev. V síťnici lze nalézt až 120 milionů tyčinek a 5-7milionů čípků, v nichž se nachází zrakový pigment rhodopsin. Tyčinky mají schopnost reagovat na intenzitu světla, čípky jsou pak senzitivní na barvy.[4, 6, 9]

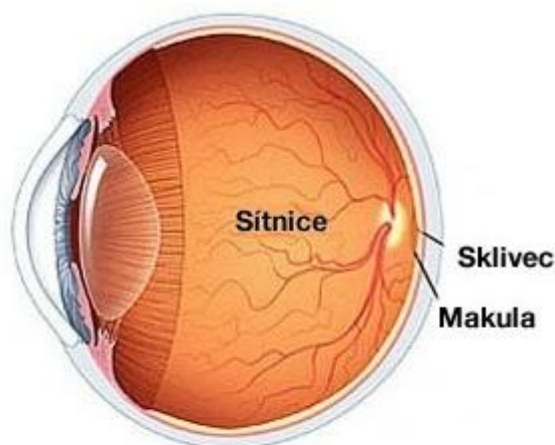
V těchto světločivých buňkách probíhá jev tzv. transdukce, což je přeměna energie světla pomocí fotochemických reakcí na elektrické impulsy, které jsou dále přenášeny do zrakového centra v mozku, kde jsou zpracovávány. Na vnitřní straně síťnice se pak nachází rosolovitá průhledná tkáň sklivce, který vyplňuje vnitřek oční koule.[4]

V centrální části síťnice je umístěna makula (žlutá skvrna), která je nutná pro ostré vidění. Žlutá skvrna má význam v biometrii pro zjišťování živosti oka. Žlutá skvrna je v živém oku načervenalé barvy a teprve v mrtvém oku zežloutne.

Periferní síťnice pak zajišťují periferní vidění. Sklivec je rosolovitá, průhledná tkáň, která vyplňuje oční dutinu a zevnitř naléhá na oční síťnici. V místě, kde opouští zrakový nerv oční kouli, se na síťnici nachází tzv. slepá skvrna (někdy též nazývána optický disk). [6, 9]

Síťnice je jedinečná a nenahraditelná součást lidského oka. Síťnice je vyživována přes síťnicové cévy, tepny a žíly, které se nachází ve vrstvě za síťnicí. Její výživu zabezpečují dva hlavní cévní systémy:

- centrální síťnicová tepna (arteria centralis retinae)
- choriokapilaris cévnatky



obr 4. Schématické zobrazení cév na sítnici (Zdroj: [9])

Centrální sítnicová tepna vstupuje do očního nervu přibližně 10 mm - 15 mm za oční koulí, v jeho ose pokračuje k papile, kde vystupuje a dělí se na horní a dolní větévku, které se pak dále dělí na terminální větévky. Na očním pozadí tepny se jeví jako světlejší a průsvitnější než žíly. Vnější vrstvy sítnice a světločivé tyčinky a čípky nemají vlastní vyživovací kapiláry. Zásobování je zprostředkováno kapilárami choriokapiláris cévnatky. [1, 4]

Jak již bylo konstatováno krevní řečiště sítnice během života je neměnné, ale mohou se na něm projevit patologické změny v důsledku vážných chorob. Mezi nejčastěji se projevující **onemocnění oka** patří věkem podmíněná makulární degenerace, retinopatie a glaukom.

Věkem podmíněná makulární degenerace se projevuje jako jedním ze svých příznaků ztenčující se vrstvou sítnice a krvácením jejích cév, které se hojí jizvami.

Retinopatie je další vážné onemocnění sítnice v důsledku dalších onemocnění jako jsou např. hypertenze, diabetes mellitus, hyperlipidemie nebo záněty cév. Cévy se v důsledku onemocnění zužují a snižuje se kvalita krevního zásobení sítnice.

Glaukom je rovněž onemocnění oka způsobené různými patologickými stavy, v jejichž důsledku stoupá vnitrooční tlak a dochází k poškození a odumrtí gangliových buněk na sítnici.

2.1.3 Bifurkace

Místa větvení cév se nazývají bifurkacemi. Slovo bifurkace je odvozeno od latinského výrazu furca, který znamená vidlička. V přeneseném slova smyslu se užívá např. pro rozdělení či rozvětvení řek nebo v lékařství pro větvení cév. Jak již bylo zmíněno, tyto bifurkace jsou unikátní pro každého jedince. [1]

2.2 Biometrie sítnice

Oční sítnice je velmi vhodným objektem pro biometrické metody. Jak bylo již výše uvedeno, sítnice je vnitřním orgánem oka a je tedy velmi dobře chráněna před zevními vlivy, takže její obraz zůstává stálý a neměnný. Další výhodou je, že není lehce viditelná a tedy i sfalšovatelá na rozdíl od oční duhovky. Zároveň je však i její relativní nevýhodou.

Získání kvalitního snímku sítnice není jednoduché. S kvalitním vybavením však může výborně posloužit pro biometrickou identifikaci i verifikaci osob s vysokou přesností a takřka s nulovou možností omylu.

Aby k tomuto účelu mohla sloužit, je nutné navrhnout metody jejího snímání a získávání obrázků do databází vhodných pro srovnání. Oko je velmi citlivý orgán a je nutné vyloučit jakýkoliv dotyk či jiné dráždění oka, které by mohlo vést k jeho poškození. Rovněž je třeba mít na paměti, že člověk se podvědomě brání každému zásahu do oka. Takže metoda nesmí pokud možno vyvolávat negativní pocity v testovaných jedincích.

Při snímání sítnice je významným požadavkem ochota vyšetřovaného jedince ke spolupráci (zaostřování zraku při vyšetřování). Významné je rovněž zachování podmínek, za jejichž trvání, byly snímky získány, např. osvětlení.

Na rozdíl od klíčů či pinů, dokonce i otisků prstů, nelze sítnici ztratit, či zkopírovat. Je tedy takřka vyloučeno její zneužití cizím činitelem. Z hlediska bezpečnosti se tedy jedná o takřka bezkonkurenční metodu biometrické identifikace a verifikace.

V biometrické praxi se posuzují unikátní snímky krevního řečiště sítnice jedince.

2.3 Videooftalmoskop

V lékařské praxi se sítnice vyšetřuje pomocí **oftalmoskopu**. Vyšetření se provádí ve vzdálenosti několika centimetrů od oka přes zornici. Tím je vyloučen jakýkoliv kontakt s vyšetřovaným okem.

Při oftalmoskopii oka dochází k vyšetření očního pozadí - zadní části oční koule- kde se prohlíží sítnice a terč zrakového nervu. V oftalmoskopu je umístěn zdroj světla, jehož paprsek projde přes zornici do vnitřku oka a osvětlí zadní vnitřní část oční koule. Sítnici je pak možné prohlížet za pomoci zvětšovacích čoček, které jsou součástí oftalmoskopu.

Vyšší kvalitu vyšetřování sítnice pak přináší použití **fundus kamery**, která je schopna vytvářet barevné snímky téměř celého povrchu sítnice. Jedná se o speciální kameru, která je upevněna na mikroskopu, jenž pomocí soustavy zrcadel a čoček

způsobí fokusaci paprsku na oční pozadí. Fundus kamery mají zabudovaný pro snímání digitální CCD senzor.[2]

Pro zachycení rychlých změn na sítnici je vhodnější používat **videokameru**, která snímá zvolené sekvence snímků, oproti prosté fundus kameře, která snímá pouze jednotlivé snímky. Daří se tak lépe eliminovat nežádoucí rušivé artefakty, např. mžikání oka, mrknutí, a taktéž hemodynamické procesy ve tkáních sítnice jako jsou např. změny průsvitu cév v důsledku změn krevního tlaku, spontánní pulsace cév atd.

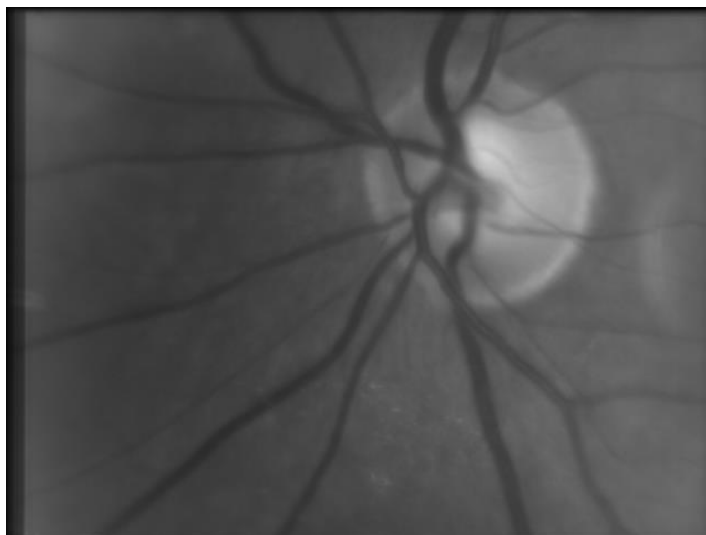
Oko pacienta se nerozkapává a je tedy nutné provádět vyšetření v šeru, aby zornice zůstala co nejvíce otevřená a světelný paprsek osvětloval sítnici a umožnil snímání cévního řečiště za ní. [2, 9]

Pro získání retinálních sekvencí byl použit nemydriatický oftalmoskop, který nezpůsobuje dilataci čočky. Pracuje ve dvoufázovém režimu. V první kroku fázová korelace eliminuje velké pohyby oka, ve druhé fázi dochází k potlačení vlivu drobných očních pohybů pomocí Lucas-Kanadeho metody sledování. Snímky poskytnuté pro tuto práci byly upraveny metodou, která je založena na kvantitativním vyhodnocení výsledků na základě intenzity zobrazení větvení cév. [5]

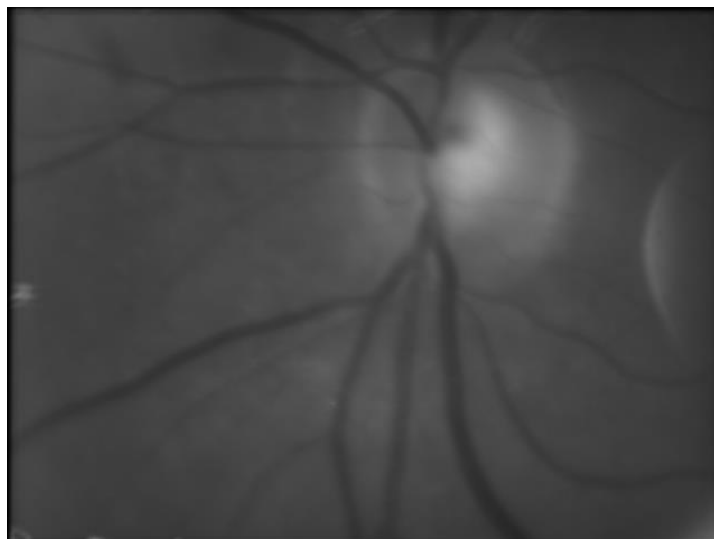
3 DATA

Tato kapitola pojednává o použitých datech. Data použitá pro tuto práci byla pořízena video oftalmoskopickou kamerou, která nasnímala videosekvence oční sítnice pacientů. Z těchto videosekvencí byly vytvořeny statické snímky prostým zprůměrováním celé sekvence. Sada snímků pro tuto bakalářskou práci byla poskytnuta doc. Ing. Radimem Kolářem, Ph.D. z ÚBMI FEKT VUT Brno.

Soubor dat obsahuje snímky oční sítnice od 66 různých pacientů. Pacientů bylo původně 67, avšak data pocházející od pacienta č. 18 nebylo možné použít pro další zpracování, takže byla z databáze vymazána. Od každého pacienta je k dispozici několik snímků oční sítnice (retiny).

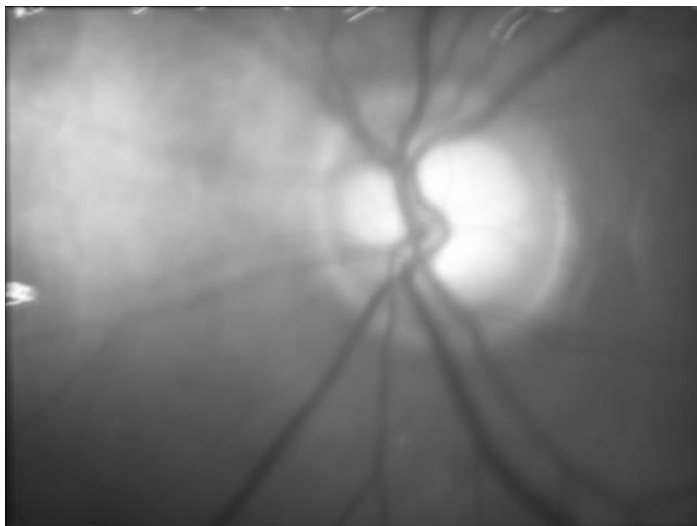


obr 5. Ukázka snímku sítnice

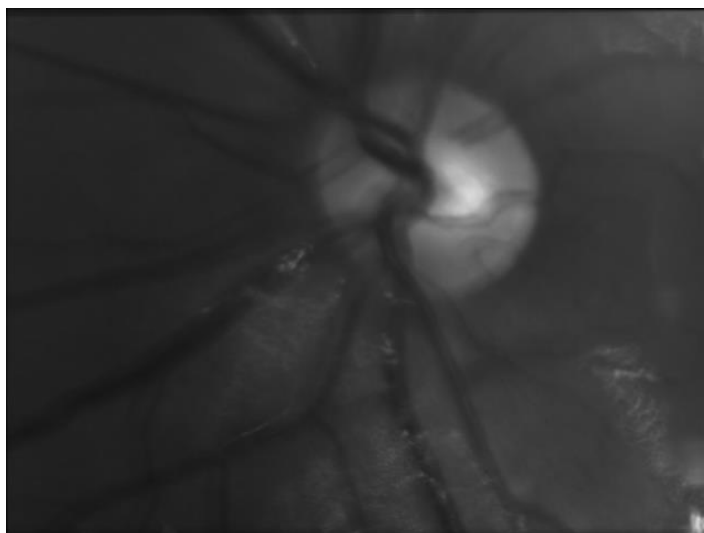


obr 6. Ukázka snímku sítnice 2

Jednotlivé sekvence se pro téhož pacienta mohou mírně lišit vlivem různých artefaktů. Tyto nežádoucí artefakty mohou být způsobeny např. mrknutím oka nebo očními mikro pohyby. Vytvořené průměrné snímky mohou být také rozmazány nebo mít špatný barevný kontrast. [5]



obr 7. Ukázka snímku s artefakty



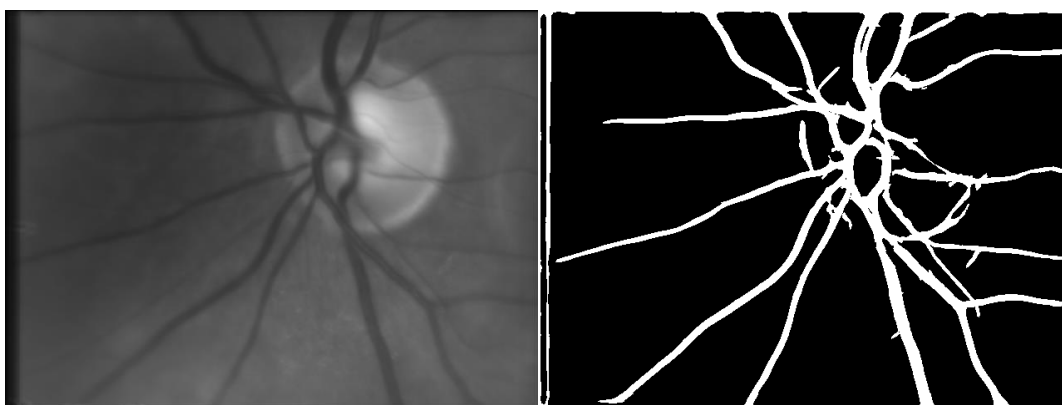
obr 8. Ukázka rozmazaného snímku

3.1 Binární obraz

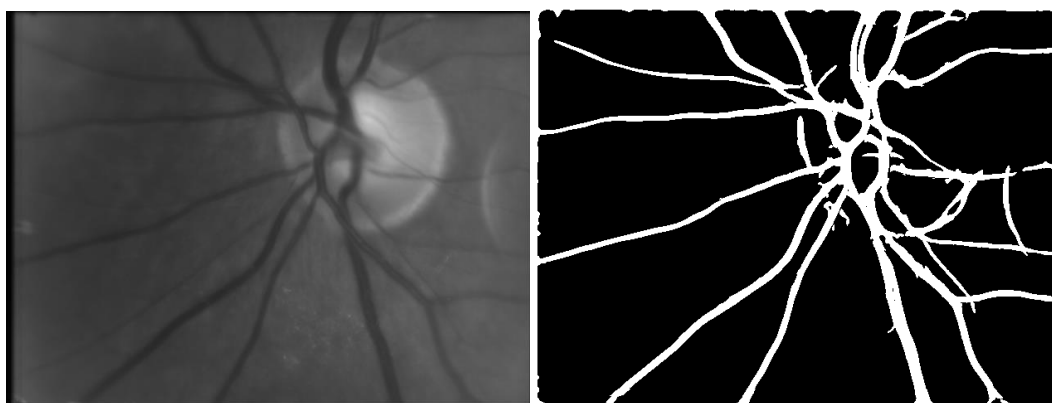
Pro další zpracování obrazů je velmi často zapotřebí si barevný obraz či šedotónový obraz převést na obraz černobílý, tedy binární. Binární obraz je vyjádřen pouze ve dvou barvách – černá a bílá. Hodnoty jeho matice tedy nabývají pouze hodnot 0 nebo 1 a jeho bitová hloubka je vždy rovna jedné.

Pro výše uvedený převod je potřeba zvolit si vhodný práh. K volbě vhodného prahu může být nápomocen histogram. Vlastní pokusy převodu šedotónového snímku na černobílý, ať už obyčejným převodem pomocí prahu, nebo pokročilejších pokusů s fuzzy množinami, se neukázaly jako vhodné. Proto k účelům této bakalářské práce byla rovněž dodána sada dat černobílých snímků očních sítnic, která koresponduje se sadou dat pacientů zmíněnou již dříve. Tyto snímky byly dodány doc. Ing. Radimem Kolářem, Ph.D., který je zpracoval metodou popsanou ve článku *Segmentace cévního řečiště ve snímcích sítnice pomocí klasifikační metody*. [10]

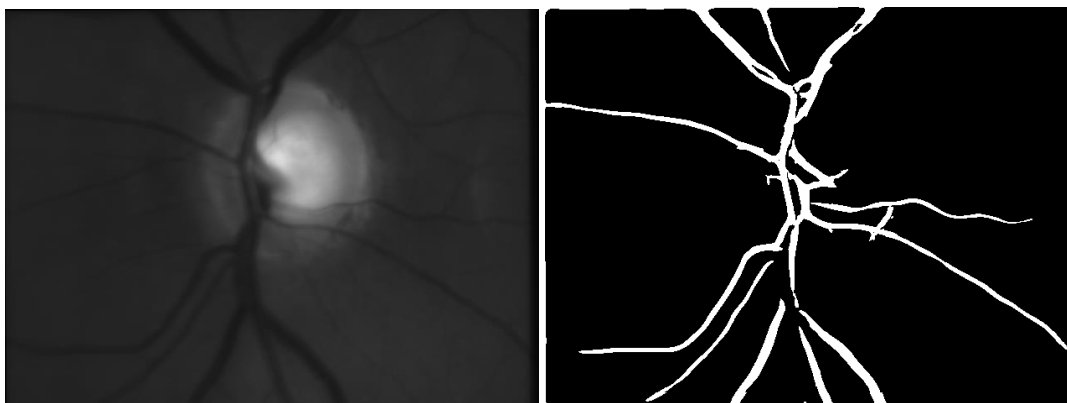
Problematikou převodu snímků barevných na černobílý snímek může být ztráta důležitých informací ze snímku (drobných cév, artefakty znehodnotí obraz). Černobílé snímky se už na pohled liší více, než tomu bylo u šedotónových snímků



obr 9. Šedotónový snímek a jeho binární verze 1a



obr 10. Šedotónový snímek a jeho binární verze 1b

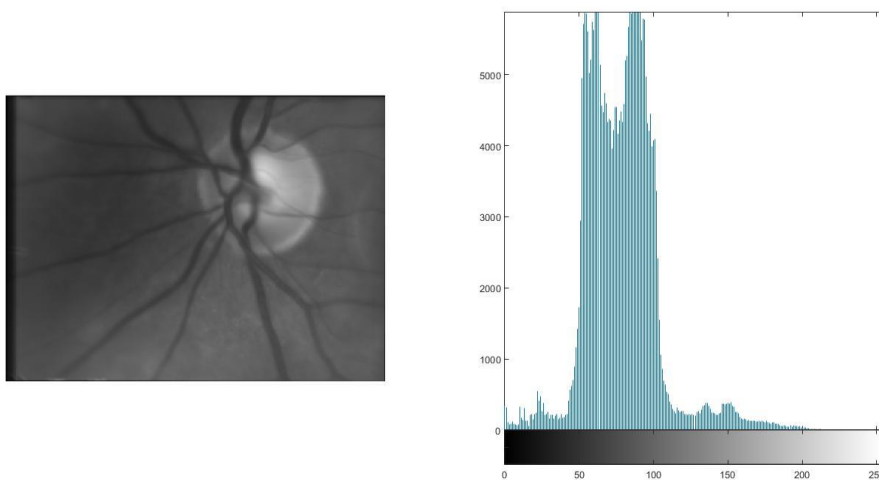


obr 11. Šedotónový snímek a jeho binární verze 2

3.1.1 Histogram

Histogram znázorňuje zastoupení jednotlivých stupňů šedi v obraze; kontrast obrazu je hodnocen podle vzdálenosti jednotlivých světelných hladin. Jinak řečeno, histogram vykresluje počet pixelů určité světelné hladiny vůči dané světelné hladině. Pro 8 bitové pixely je rozsah světelných hladin od 0 (černá) do 255 (bílá).

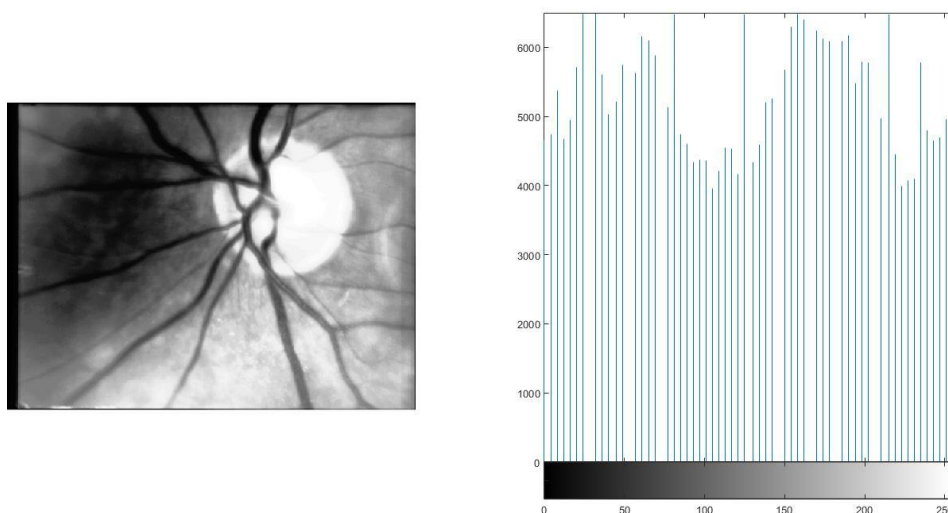
Čím tmavší obraz je, tím je větší koncentrace hodnot směrem k nule. Čím je nižší kontrast, tím je histogram užší.[7]



obr 12. Obrázek oční sítnice a její histogram

Různé snímky mají zastoupení světelných hladin odlišné. Proto je pro šedotónové snímky vhodné použít na úpravu obrázku ekvalizaci histogramem. Ekvalizace histogramu je algoritmus, který změní rozložení intenzit v obraze tak, aby se v něm vyskytovaly pokud možno intenzity v širokém rozmezí, a to přibližně se stejnou četností. U obrazů s konečným počtem obrazových bodů se lze tomuto cíli jen přiblížit, viz obr. 12.

Ekvalizace umožňuje v obraze s celkově vysokým kontrastem zvýraznit špatně rozpoznatelné detaily s nízkým kontrastem. [14]



obr 13. Ekvalizovaný snímek a jeho histogram

3.1.2 Prahování

Volba vhodného prahu je základním prvkem převodu obrazu na binární obraz. Prahem jsou vybrány pixely, které mají určitou hodnotu nebo se nacházejí v určitém rozmezí. To může posloužit k nalezení určitých objektů v obrazech, pokud je známa jejich světelná hladina.

Pokud je práh zvolen na hladinu 160, pak veškeré pixely s hodnotou vyšší než 160 budou převedeny na bílé, zatímco všechny pixely, které nabývají hodnoty menší než 160, budou převedeny na černé.[7]

4 NÁVRH ŘEŠENÍ

Tato kapitola bude věnována návrhu konkrétního řešení dané problematiky s užitím černobílých snímků a poté i aplikována na sadu snímků ve verzi šedých odstínů pro porovnání spolehlivosti a vhodnosti obou barevných verzí.

Postupně bude přiblíženo zpracování dat. Zvolená metoda pro řešení problému byla pojmenována „Metoda překrytí a posunu“.

4.1 Metoda překrytí a posunu

Tato metoda spočívá v hledání diferencí mezi dvěma binárními obrázky. Každý binární obrázek je v podstatě matice složená z jedniček a nul. Lze je tedy matematicky odečítat a díky tomu i vyhodnotit počet rozdílů v jednotlivých obrázcích.

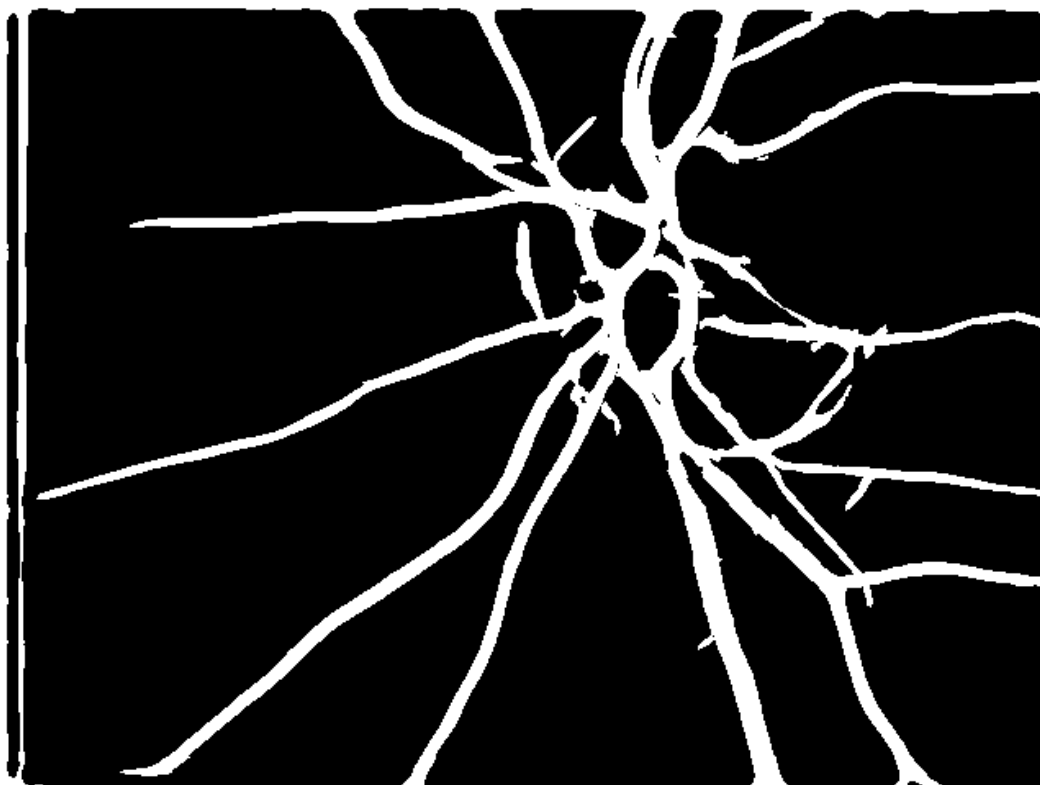
Z diagnostického hlediska jsou důležité právě ty pixely, které mají bílou barvu, představují tedy cévu na sítnici, a v matici mají hodnotu rovnou jedné. Při zpracování lze tedy zanedbat ty pozice, kde v obou maticích je černý pixel, a nebudou dále brány v úvahu. Do výpočtu jsou zahrnuty pouze prvky matice, které odpovídají pixelům, jenž měly bílou barvu na alespoň jednom ze dvou snímků.

Na místech, kde mají oba snímky stejnou hodnotu, po jejich vzájemném odečtení zůstane nula. Pokud ovšem měly pixely rozdílné hodnoty, bude na této pozici číslo jedna nebo mínus jedna. Protože je hledáno minimum, musí být vzata absolutní hodnota, jelikož mínus jednička by nám falešně ovlivňovala výsledek. Hledaná hodnota minima odpovídá sumě všech prvků celé matice, podělené počtem těchto prvků.

Sítnice nemusí být 100% totožné, bude hledána nejlepší možná shoda. Obrázek bude nutné nejprve podrobit úpravám a následně bude porovnán s celou sadou černobílých snímků.

První snímek od každého pacienta je určen za snímek referenční. Ostatní snímky v databázi jsou brány jako snímky hledané.

Po načtení referenčního snímku bude nejprve snímek ošetřen oříznutím okrajů, na nichž bývá největší koncentrace rušivých artefaktů. Okraje snímku mají navíc i nejmenší váhu, neboť většina důležitých informací je soustředěna okolo středu snímku. Podrobněji bude uvedeno v 4.2.3.



obr 14. Snímek před oříznutím



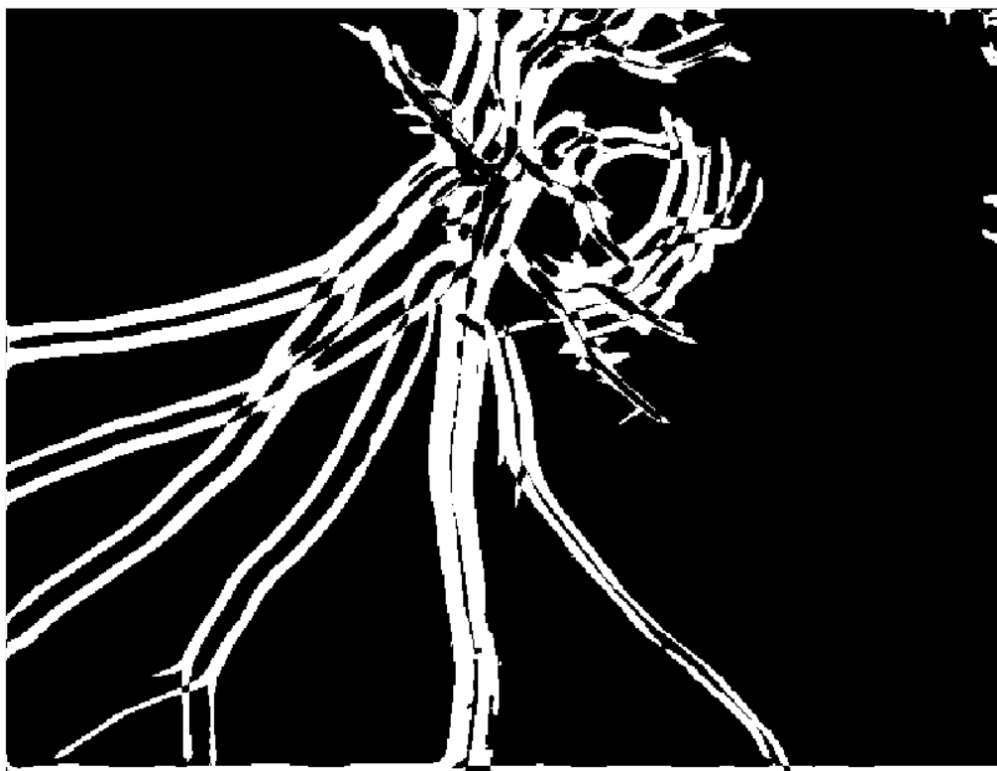
obr 15. Snímek po oříznutí

Poté co je snímek vhodně oříznut, je použita další funkce, jež má za úkol eliminaci drobných dalších rušivých artefaktů a nehomogenit, které mohly vzniknout během převodu na černobílý obraz. Podrobně se této funkci budeme věnovat v kapitole 4.2.4.

Nyní, když je referenční snímek připraven ke zpracování, jsou postupně načítány snímky z databáze. U každého snímku je také proveden prvotní ořez, který je stejný jako u obrázku referenčního. Poté následuje i druhá funkce, která již byla zmíněna. Odstraněním drobných a osamocených pixelů zvyšujeme pravděpodobnost úspěšného nalezení snímku.

V okamžiku, kdy jsou referenční i zkoumaný snímek upraveny k dalšímu zpracování, nadchází nejdůležitější část – hledání nejvyšší shody obou snímků. Té je dosaženo odečtením pouze těch indexů pixelů, kde alespoň v jednom z obou obrazů, se nachází bílý pixel. Jde tedy o rozdíl pouze na místech, kde alespoň v jednom z obrazů se nachází céva. Snímky jsou posouvány pouze vodorovně v řádcích nebo svisle po sloupcích. Je tedy zanedbána jejich možná rotace, popřípadě zkosení, zmenšení, atd.

Funkce *srovnání*, která je podrobněji vysvětlena v kapitole 4.2.5, bude postupně snímky posouvat a hledat jejich nejvhodnější překrytí, neboť snímky nejsou dokonale vycentrované, protože se mohlo oko v průběhu snímání posunout a obyčejné překrytí by nám nemuselo najít nejlepší shodu.



obr 16. Ukázka překrytí dvou snímků stejné sítnice se vzájemným posunem

Po nalezení nejvíce shodného snímku se název snímku porovná s názvem snímku referenčního a zaznamená se shoda či neshoda názvů snímků, aby mohla být výpočtem stanovena přesnost algoritmu.

4.2 Řešení v programu Matlab pro černobílé snímky

V této kapitole bude postupně rozebrán kód programu sloužící k identifikaci jedince podle snímků oční sítnice. Celý program byl řešen výhradně v programu Matlab, verzích 2015 a 2016.

Nejprve bude představen program jako celek, následně budou více přiblíženy jednotlivé použité funkce programu.

4.2.1 Metoda překrytí a posunu v programu Matlab

Databáze obsahuje celkem 66 pacientů, od každého pacienta pak více než jeden snímek, a pro každého pacienta bude hledána nejlepší shoda se snímky ostatních pacientů v databázi. Vždy první snímek jednotlivých pacientů, mimo osob, které tento první snímek nemají a u kterých je použit až druhý snímek, je referenčním snímkem pro další zpracování. K tomuto referenčnímu snímku se hledá v databázi nejpodobnější snímek z ostatních, nereferenčních snímků.

Na začátku bude použit **for cyklus** k načítání jednotlivých referenčních snímků, od čísla 1, až po 67 (18. pacient je vynechán). Pomocí podmínky **if** ošetříme snímky, které nemají první snímek, takže jej nelze použít jako referenční a bude použit až snímek následující.

Poté, co je referenční snímek načten z databáze, bude postupně upravován několika funkcemi. První z těchto funkcí je funkce **CutEdges**. Aplikací této funkce budou nepotřebné okraje obrázku oříznuty o jednu desetinu, aby zbytečné artefakty na okraji obrázku nezkreslovaly výsledky.

Následně projde úpravou funkcí **SmallOut**. Tato funkce postupně mediánovou 2D-filtrací a detekcí malých objektů odstraní shluky menší než 200 pixelů a osamocené pixely.

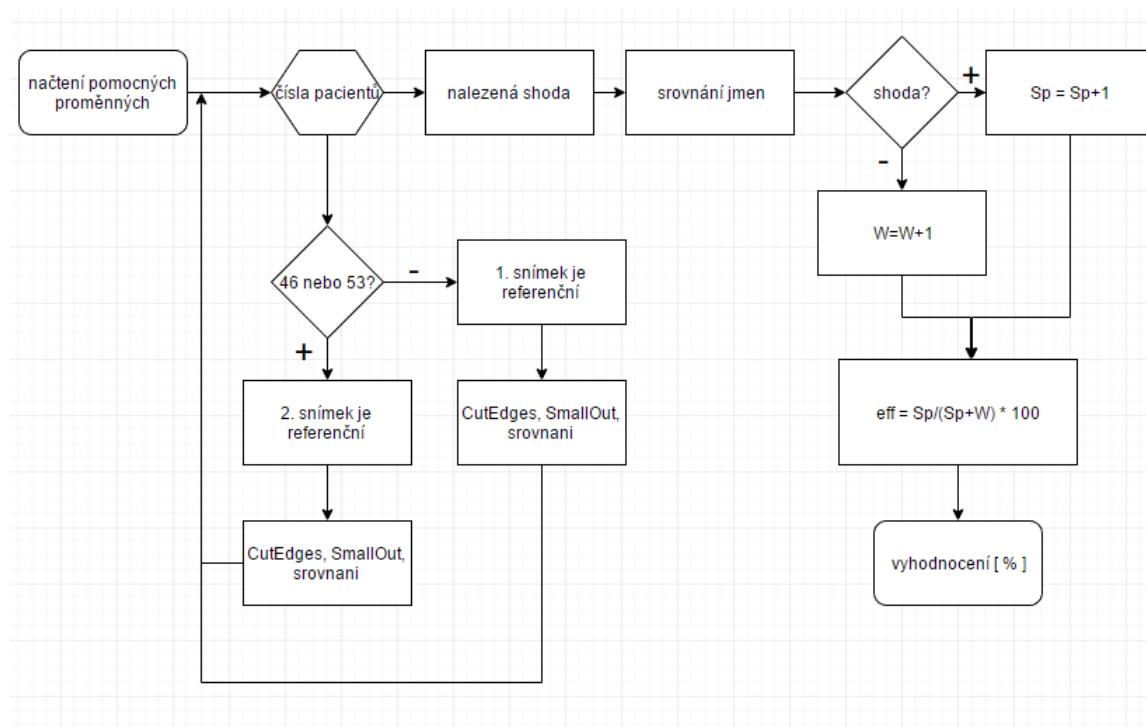
Jakmile je referenční snímek připraven ke zpracování, postoupí do funkce **srovnani**. Uvnitř této funkce je referenční snímek postupně srovnáván s dvěma snímky od každého pacienta, pokud pacient neměl první nebo třetí snímek, tak pouze s jedním snímkem.

Každý snímek databáze projde identickými úpravami jako snímek referenční ve funkcích **CutEdges** a **SmallOut**. Dále je snímek spolu s referenčním ve funkci **posun** postupně posouván doprava a dolů, a hledá se ideální překryv mezi obrázky. Uvnitř této funkce se hledá co nejmenší rozdíl mezi polohou černých a bílých pixelů obou snímků.

Stejně tak snímek projde i funkcí **posuninv**, která je prakticky stejná jako funkce **posun**, pouze se zde snímek posouvá na levou stranu, respektive je referenční snímek posouván oproti snímku zkoumanému.

Nakonec je vybrána nejlepší shoda z obou posunů a je porovnána mezi sebou. Nižší výsledná hodnota je nadále hodnotou nejvhodnějšího posunu. Celý proces se bude nyní opakovat pro každý další snímek až do projití celé databáze. Jakmile je tak učiněno, bude nalezena nejnižší hodnota kritéria, a jemu patřící snímek. Porovnáním názvů snímků zjistíme, zda se opravdu jednalo o shodné snímky nebo o chybnou detekci.

4.2.2 Hlavní skript *MainScript*



obr 17. Vývojový diagram hlavního skriptu

Jako první krok je potřeba si stanovit počet snímků, které budou z databáze zkoumány. V našem případě je to vektor čísel G , který obsahuje čísla od jedné do 67, mimo číslo 18. Vektor G tedy udává číslo pacienta, od kterého byly snímky pořízeny.

Zároveň vyvstává i nutnost stanovit počítadlo správných a špatných. Do těchto počítadel bude na konci každé iterace přičtena jednička, podle toho, zda byla detekce správná. Všechny tyto proměnné jsou načteny okamžitě po spuštění skriptu.

For cyklus nám generuje číslo, které je postupně bráno z vektoru G , což je vektor všech čísel pacientů, od čísla jedna až po číslo šedesát sedm, mimo číslo

osmnáct, a zároveň poslouží k načtení určitého pacienta, jehož první (u některých snímků až druhý) snímek bude sloužit jako snímek referenční.

Jelikož některé snímky neobsahovaly snímek číslo jedna, je nutné použít jako referenční snímek jiný. V této bakalářské práci to bude snímek následující, tedy s pořadovým číslem dva. Takový pacienti jsou v databázi pouze dva a to pacienti s číslem 46 a 53.

Na každý jeden snímek je poté aplikována funkce *CutEdges*, která bude popsána níže v kapitole 4.2.3. Zde dojde k ořezu okrajů obrázku a obrázek následně putuje k další úpravě do funkce *SmallOut*. I tato funkce bude popsána později v kapitole 4.2.4.

Nakonec je referenční snímek posunut do funkce *srovnani*. Zde prochází nejvíce úpravami a referenčnímu snímku bude přiřazen nejpodobnější snímek. Podrobnější rozbor obsahuje kapitola 4.2.5. Z této funkce získáme název snímku, který je porovnán s názvem referenčního snímku. Není nutné posuzovat celé názvy pacientů z databáze, protože určující pro přesnost skriptu bude pouze správné přiřazení osoby a nikoliv, který snímek od tohoto pacienta má nejlepší shodu. Pro lepší představu je níže uvedeno databázové jméno prvního pacienta:

Study01_00001_001_registered.avi_average_image

První dvojčíslí je pro účely práce naprosto zanedbatelné, protože se v databázi nijak nemění. Dalších pět čísel už naopak je pro vyhodnocení shody naprosto nepostradatelných. Udávají totiž číslo pacienta a podle posledních dvou čísel tohoto dvojčíslí bude určena správnost detekce. Porovnány proto budou názvy pouze po tohle číslo. Poslední tři čísla označují číslo snímku daného pacienta. Jsou tedy podstatné, pouze při rozlišení na referenční snímky a na snímky zkoumané. Pro vyhodnocení správnosti detekce však podstatné nejsou.

Porovnávání název tedy vypadá takto:

Study01_00001

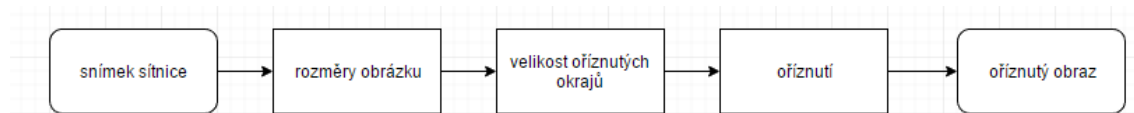
Shodou dvou textových řetězců v programu se zabývá funkce zabudována v Matlabu *strcmp*. Výstupem této funkce je buď logická jednička, pokud se oba názvy snímků shodují, nebo nula, pokud se názvy obou snímků liší.

V případě, že se názvy obou snímků shodovaly, je do proměnného počítadla správných detekcí *Sp* přičtena jednička. Pakliže nebyly totožné, je jednička přičtena do počítadla špatných detekcí *W*. Z těchto dvou počítadel nakonec vypočítáme přesnost metody, kterou udává následující rovnice:

$$\text{eff} = \frac{S_p}{S_p + W} \cdot 100 [\%]$$

Rovnice 1: Výpočet přesnosti metody

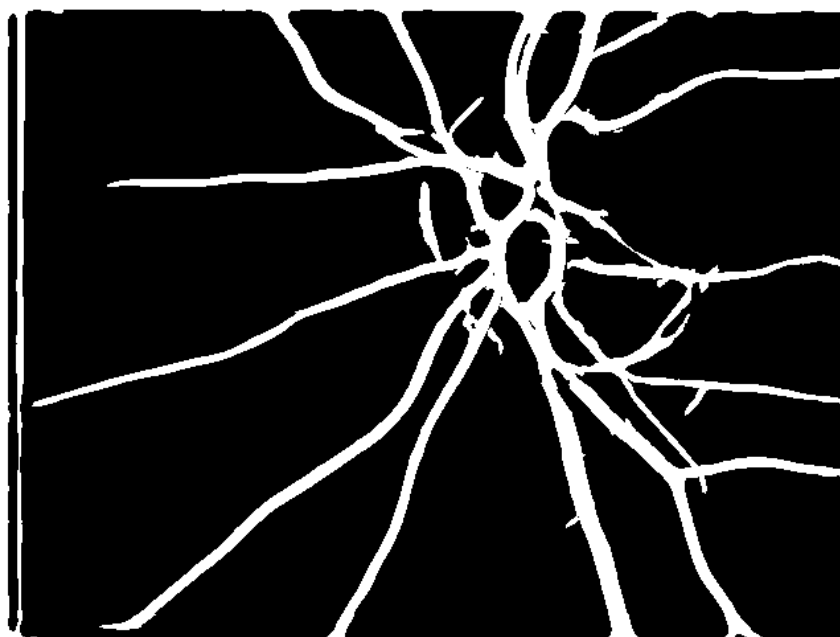
4.2.3 Funkce CutEdges



obr 18. Vývojový diagram funkce *CutEdges*

Většina potřebných informací je ve značném počtu případů uložena okolo středu obrázku, takže není potřeba použití celého snímku. Okraje snímků pak bývají poměrně často znehodnoceny artefakty a mohly by zkreslit výsledky.

Jak je například vidět na levém okraji snímku na obrázku uvedeném níže.



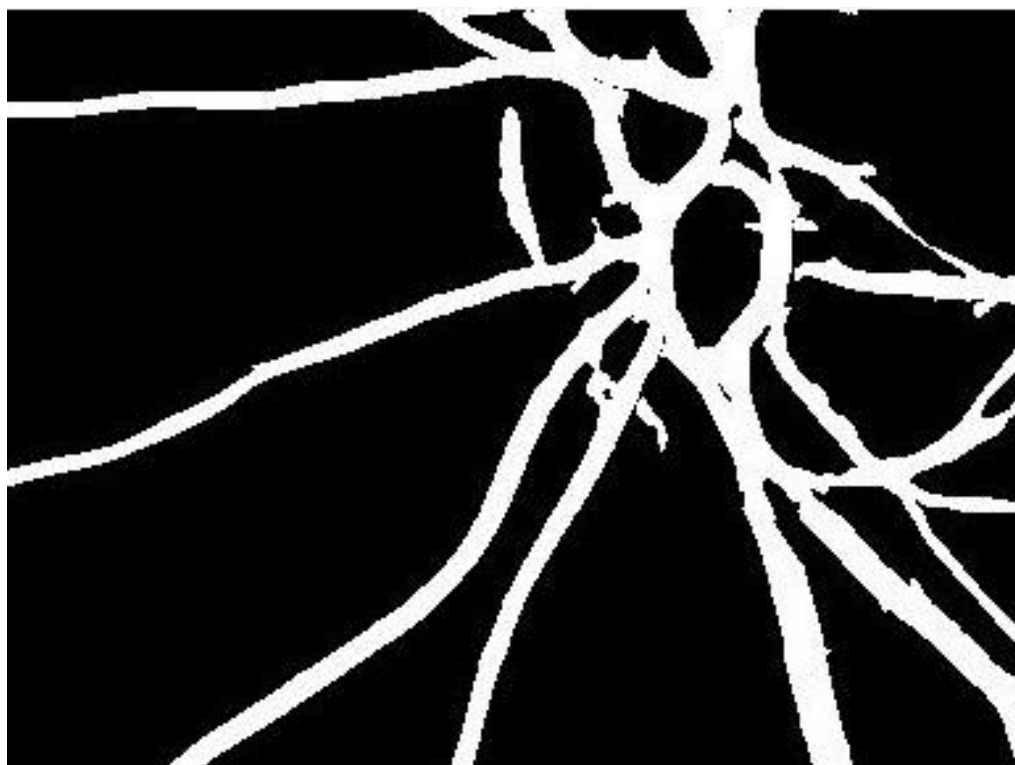
obr 19. Obrázek bez oříznutí

Proto je tato funkce navržena tak, aby ořízla okraje přesně o jednu desetinu původního snímku z každé strany. Jedna desetina právě proto, aby byla zachována informace uložená v obraze, ale zároveň aby byly okraje dostatečně oříznuty. Pro srovnání jsou níže uvedeny dva obrázky, kdy je jeden oříznut o jednu desetinu, zatímco druhý je oříznut o jednu pětinu. Na druhém obrázku je jasně patrné, že došlo

ke ztrátě důležité informace, zatímco na obrázku prvním byl odstraněn znehodnocený okraj a podstatné informace zůstaly zachovány.

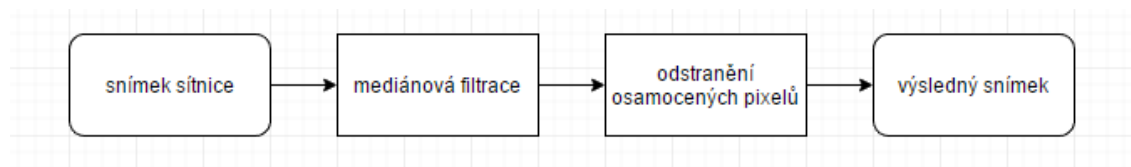


obr 20. Obrázek po oříznutí o 1/10



obr 21. Obrázek oříznutý o 1/5

4.2.4 Funkce SmallOut

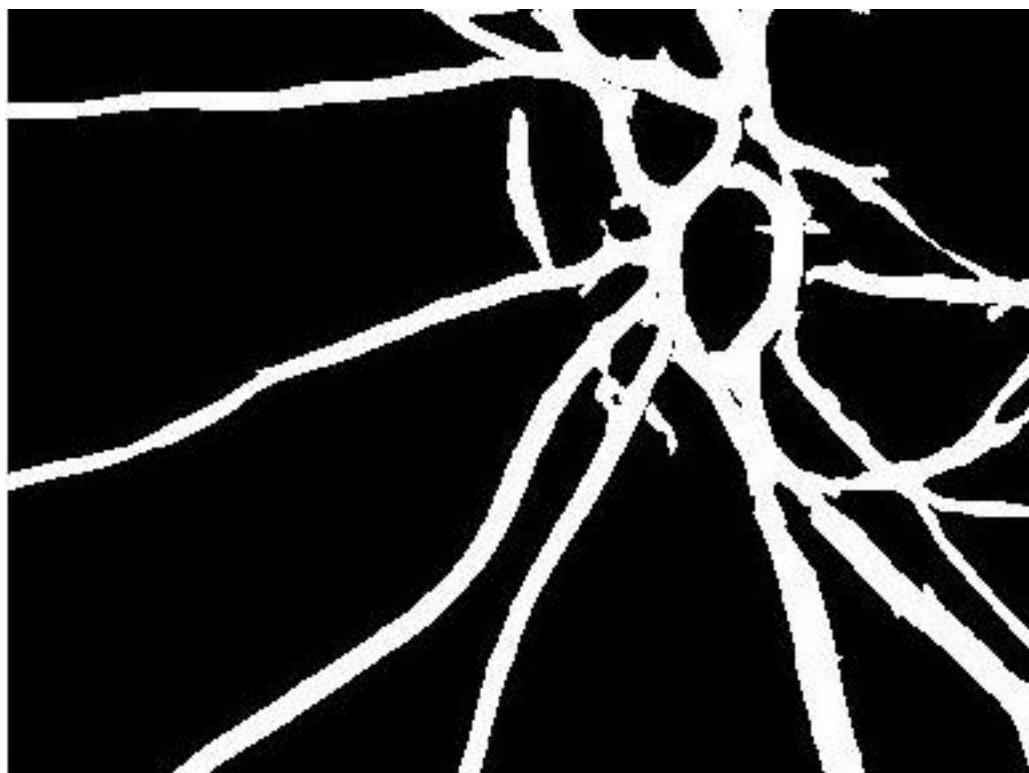


obr 22. Vývojový diagram funkce *SmallOut*

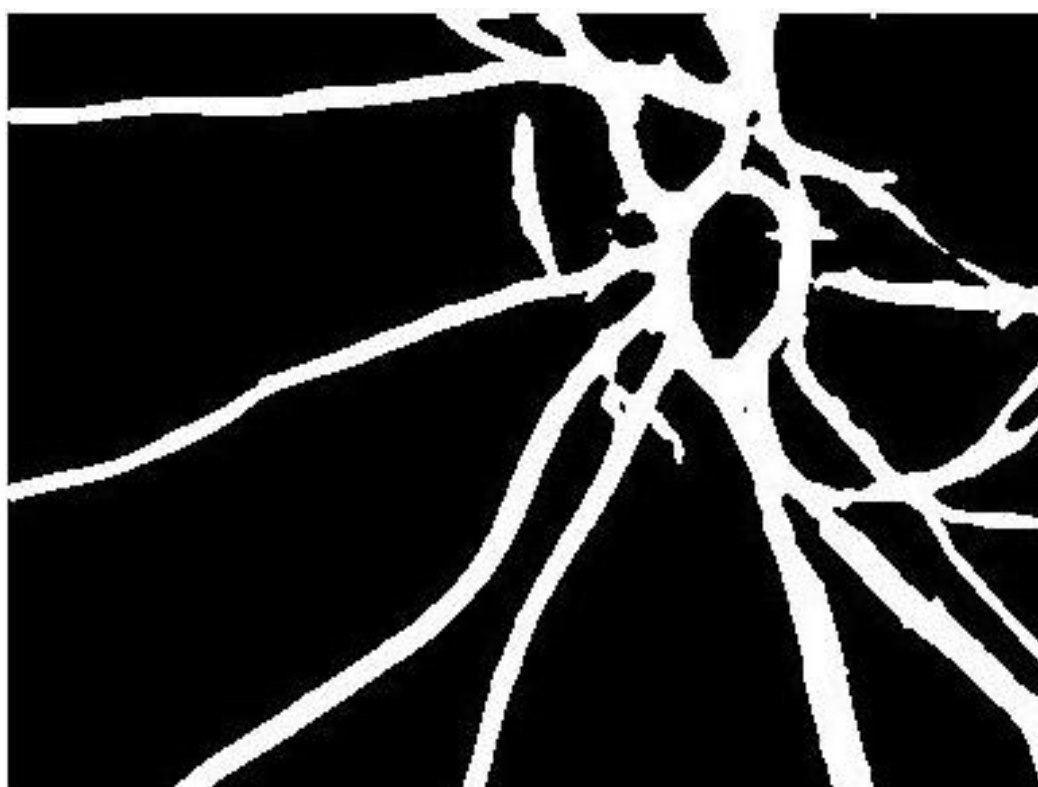
Tato funkce slouží hlavně k eliminaci možných chyb při hledání shody. Chyby mohly nastat nejčastěji špatnou segmentací cév, kterou je takřka nemožné provést bezchybně.

Drobné artefakty, jako například osamocené bílé pixely, popřípadě malé shluky černých či bílých pixelů je tedy vhodné odfiltrovat.

Prvním krokem po načtení obrazu do funkce je 2-D mediánová filtrace obrazu, kdy maska o velikosti 3x3 pixely projde celý obraz a každému pixelu přiřadí mediánovou hodnotu. Pokud jsou tedy například 2 pixely bílé mezi 7 černými, je jim přiřazena černá barva. Velikost masky 3x3 byla zvolena tak, aby zachovala nejvýhodnější poměr mezi informacemi v obraze a zároveň i odstranila většinu chybných pixelů. Poměrně dobrých výsledků měla také maska 5x5 pixelů, ale u některých snímků byl zásah příliš razantní a maska odstranila i užitečné části, proto nebyla použita.

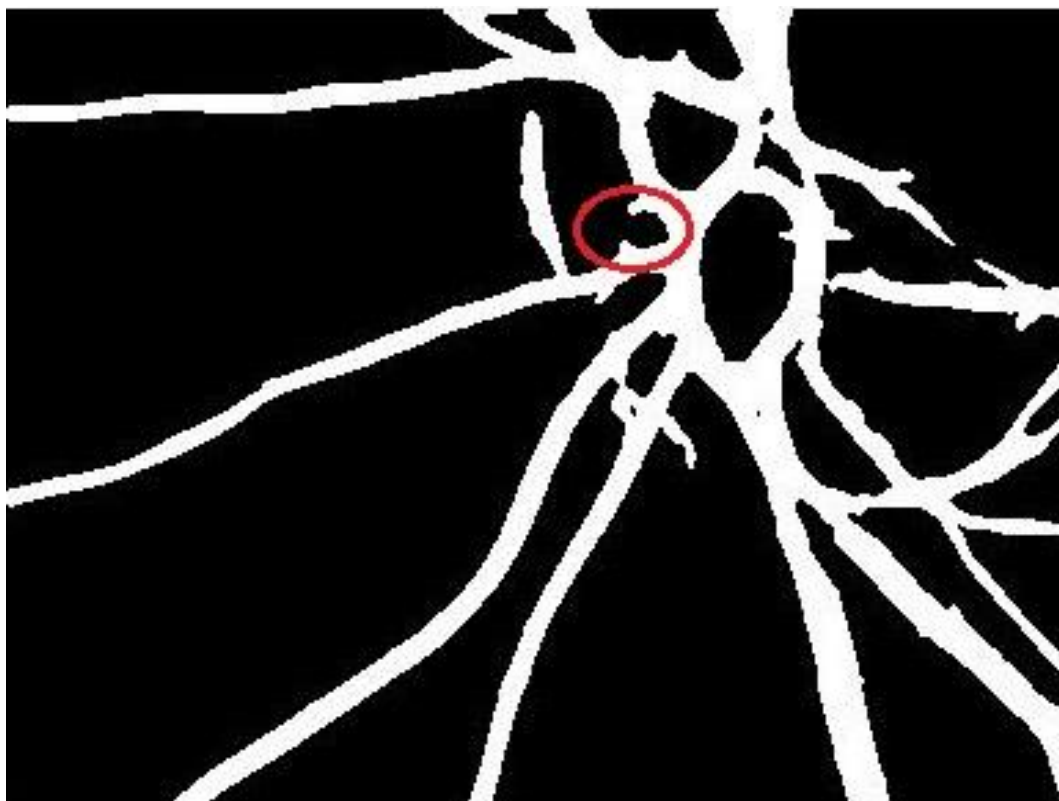


obr 23. Snímek před filtrací



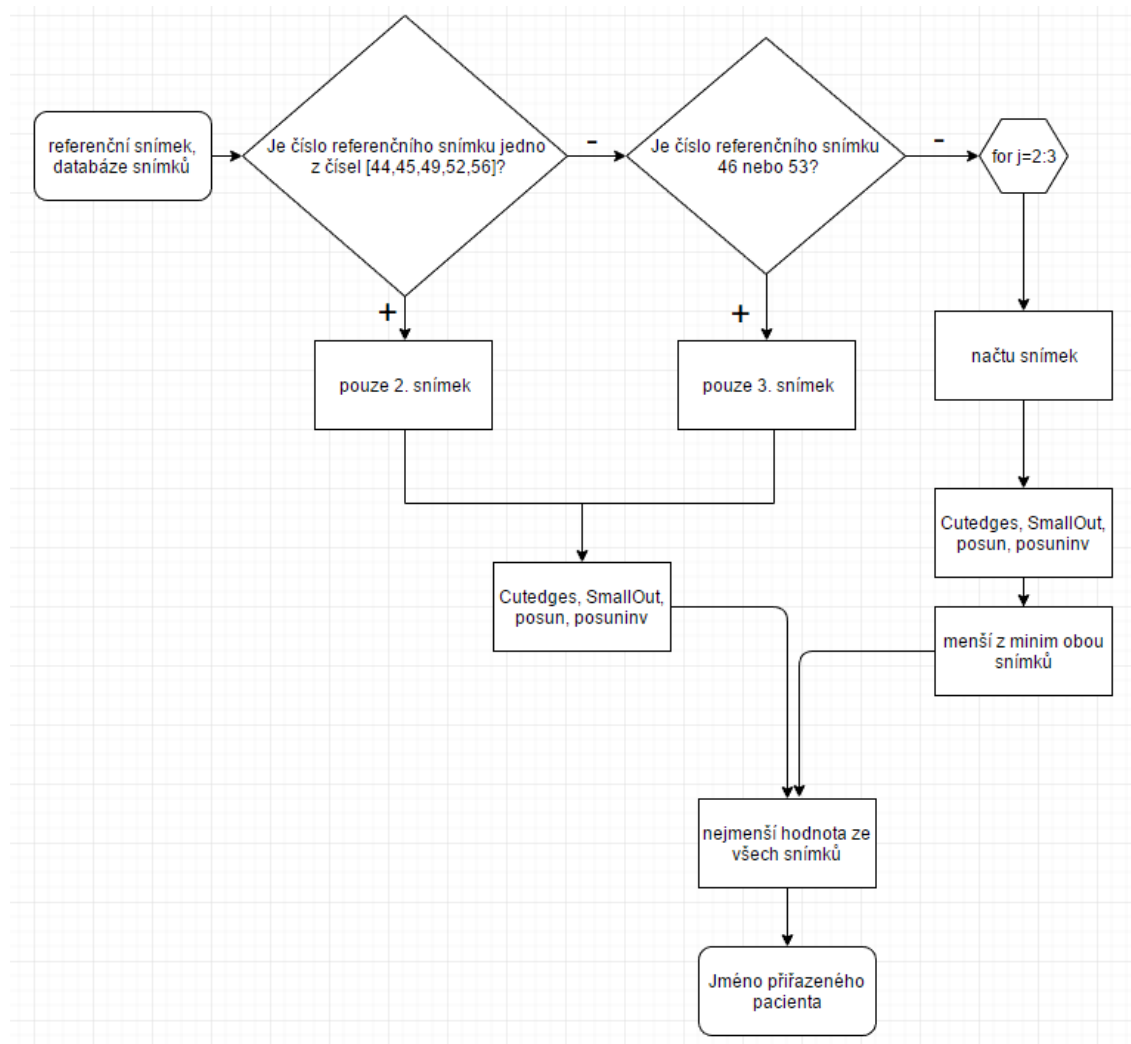
obr 24. Snímek po 2-D mediánové filtraci s maskou 3x3

Následně je vhodné odstranit drobné objekty, které nejsou součástí hlavní cesty cév. Toho je docíleno sadou příkazů, které vyhledají osamocené shluky pixelů a z obrazu je odstraní. Na první pohled nemusí být změny nutně vidět, ale po přezkoumání počtu bílých i černých pixelů, vidíme, že se jedná o desítky, někdy dokonce i o stovky pixelů.



obr 25. Snímek po odstranění drobných shluků

4.2.5 Funkce srovnání



obr 26. Vývojový diagram funkce *srovnání*

Nyní je již referenční snímek upraven a je možné provést vyhledávání k němu shodného snímku. Uvnitř *for* cyklu se postupně načítají všechny snímky z databáze a každý z nich nejprve prochází stejnými úpravami jako snímek referenční. Většina pacientů má alespoň dva další snímky, mimo snímek referenční, takže budou u nich alespoň dva snímky prověřovány na možnou shodu. U ostatních pacientů bylo podmínkou ošetřeno, že bude zkoumán pouze snímek jeden.

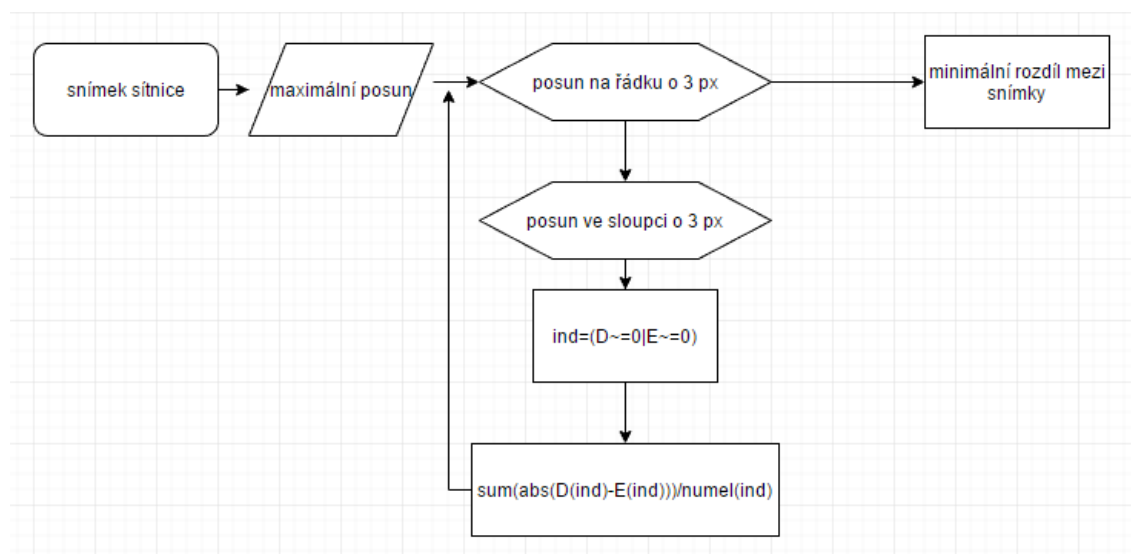
Každý snímek, který prošel funkcemi *CutEdges* a *SmallOut*, pokračuje k dalšímu zpracování do funkcí *posun* a *posuninv*. Obě tyto funkce budou více probrány v sekci 4.2.6.

Výstupem těchto funkcí jsou hodnoty nejmenšího možného rozdílu mezi oběma snímky. Tyto hodnoty jsou zde porovnány a menší z nich, tedy hodnota lepší shody, je uložena do proměnné *matice*. Toto je provedeno i se všemi ostatními

snímky. U pacientů, kteří mají více snímků, je vybrána pouze nejlepší shoda ze všech snímků.

Nakonec pomocí indexu minimální hodnoty z *matice* najdeme číslo pacienta a načteme jeho jméno, které je výstupem této funkce, a je posláno do hlavní části programu *MainScript*, kde je porovnáno s referenčním pacientem a potvrzena či vyvrácena shoda.

4.2.6 Funkce posun a posuninv



obr 27. Vývojový diagram funkcí *posun* a *posuninv*

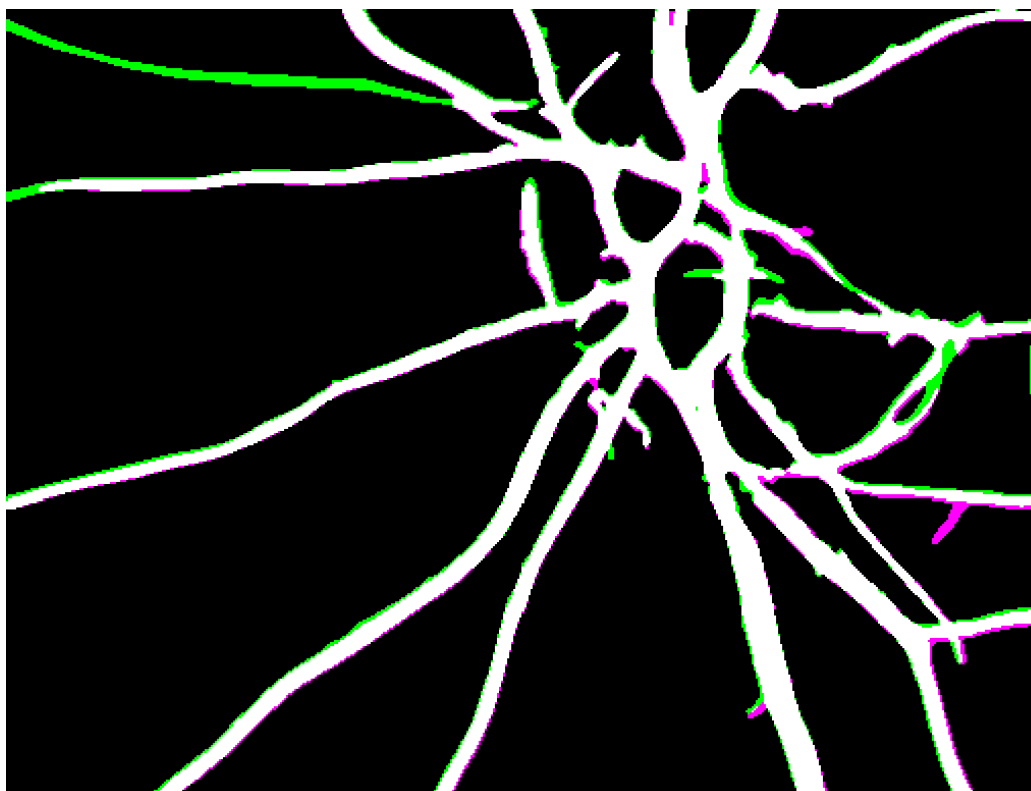
Jak již bylo dříve zmíněno, nemusí se dva obrázky téhož oka shodovat díky drobným pohybům očí při snímání. Proto je potřeba zkoumat, zda posunem jednoho snímku vůči druhému nedojde k lepšímu překrytí zobrazených cév.

Pokud by byly oba snímky perfektně shodné, pak by se jejich odečtem, který je graficky znázorněn na obrázku obr. 28, dostal nulový, tedy celý černý obraz.



obr 28. Překrytí dvou totožných snímků

V případě, že se jedná o stejné oko, pouze s drobným posunem, můžeme rozdíl eliminovat díky posunutí referenčního obrázku oproti obrázku zkoumanému. Výsledný obrázek by potom vypadal přibližně takto:



obr 29. Překryv 2 různých snímků stejného oka

Zelená a fialová barva značí neshodu mezi obrázky, bílá a černá barva ukazují, kde došlo ke správnému překrytí obou snímků.

Shodné ovšem mohou být také určité části obrázku, kdy chybnou segmentací cév nebo jiným ovlivňujícím faktorem se můžou snímky od sebe více lišit. Je tedy zapotřebí najít i částečnou shodu v obrázku, která by mohla vést ke správné identifikaci jedince.

Proto jsou oba obrázky ve *for* cyklech postupně posouvány o 3 pixely doprava (tato hodnota byla určena za účelem urychlení celého chodu programu, protože nezpůsobuje výrazné zkreslení a zároveň je výpočet mnohem rychlejší), popřípadě doleva, ale zároveň zkracovány o jejich posun. Čím je snímek menší, tím je větší pravděpodobnost, že bude špatně přiřazen k jinému snímku, protože již neobsahuje takový počet důležitých informací, jako obsahuje snímek v původním rozlišení.

Z referenčního snímku, i ze snímku zkoumaného, jsou vybrány pixely, které nejsou v obou obrázcích černé, a jejich index je uložen do proměnné *ind*. Následně jsou od sebe odečteny pixely obou snímků z pozic, které byly nalezeny předtím, a je vypočítána jejich absolutní hodnota. Suma těchto indexů je nakonec podělena jejich počtem a dostáváme číslo od nuly do jedné. Tím se zabrání tomu, aby nejmenší obrázek neměl vždy nejmenší počet rozdílů. Tato hodnota je uložena do proměnné a provede se další posun po řádku, popřípadě i ve sloupci a celý výpočet se opakuje.

Jakmile je posun dokončen až do maximální povolené hodnoty, je zapotřebí najít minimální hodnotu rozdílů ze všech posunů snímků. V matici jsou ovšem nuly na pozicích indexů hodnot druhých a třetích pixelů, protože byl zvolen krok tři. Tyto nuly je nutné eliminovat, takže bude nalezena nejnižší nenulová hodnota. To je ošetřeno tím, že všechny nuly jsou nahrazeny nekonečnem. Jelikož je takřka nemožné pořídit dva úplně totožné snímky oční sítnice, není důvod uvažovat nad absolutní shodou obrázků, kdy by jejich rozdíl byl roven nule.

Menší z minim obou funkcí určuje polohu nejlepšího překrytí snímků, takže s touto hodnotou se bude dále pracovat.

4.3 Výsledky práce

Obsahem této kapitoly bude zhodnocení efektivity navržené metody. Jelikož se jedná o biometrický systém, mělo by dojít v ideálním případě k bezchybné shodě. Někdy je ovšem velice obtížné program optimalizovat pro různé typy dat, s ohledem na rychlost a přesnost zpracování.

Z výsledků v následující tabulce uvidíme, že program pracuje z hlediska požadavků na biometrický systém s poměrně malou přesností. Z 66 pacientů bylo celkem 41 určeno správně a 25 jich bylo přiřazeno k jinému pacientovi.

$$eff = \frac{41}{41 + 25} \cdot 100 = 62,1212 \%$$

Rovnice 2: Výpočet výsledné shody v procentech

Na základě výpočtu z výše uvedené rovnice, je přesnost programu zjištěna v hodnotě 62,1212 %.

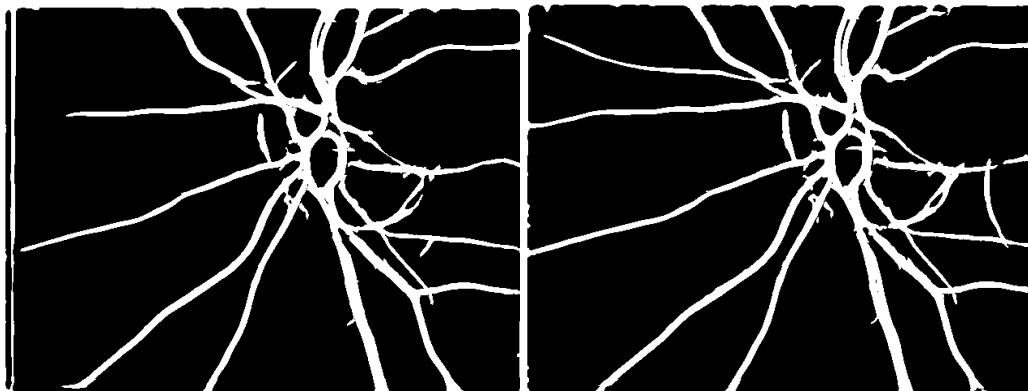
V tabulce *Tabulka 1* je uveden seznam pacientů a jim přiřazených snímků. V příloze *Tabulka 2* je pak přiložena tabulka jednotlivých snímků s hodnotami kritérií shody. Z tabulky vyplývá, že pro správně přiřazené snímky byla průměrná hodnota kritéria 0,39 a pohybovala se v rozmezí hodnot mezi 0,1608 až 0,7034. Průměrná hodnota kritéria u špatně nalezeného snímku byla 0,34732. Hodnoty se zde pohybovaly v rozsahu od 0,0588 do 0,6203.

V příloze 3 si lze prohlédnout tabulku porovnání nalezených minimálních kritérií s nejmenším kritériem shodného snímku.

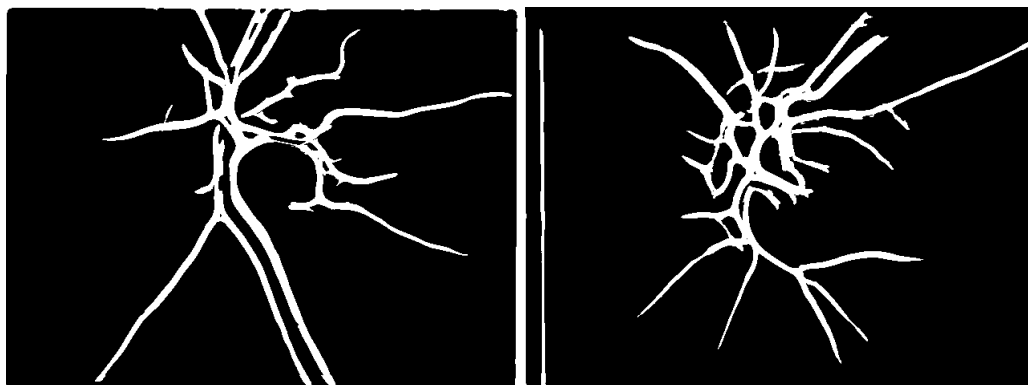
Tabulka 1: Tabulka nalezených snímků k referenčním

Pacient	Nalezený snímek	Shoda	Pacient	Nalezený snímek	shoda
Study01_00001	Study01_00001	ANO	Study01_00035	Study01_00035	ANO
Study01_00002	Study01_00067	NE	Study01_00036	Study01_00057	NE
Study01_00003	Study01_00003	ANO	Study01_00037	Study01_00037	ANO
Study01_00004	Study01_00004	ANO	Study01_00038	Study01_00038	ANO
Study01_00005	Study01_00005	ANO	Study01_00039	Study01_00039	ANO
Study01_00006	Study01_00006	ANO	Study01_00040	Study01_00040	ANO
Study01_00007	Study01_00024	NE	Study01_00041	Study01_00041	ANO
Study01_00008	Study01_00008	ANO	Study01_00042	Study01_00057	NE
Study01_00009	Study01_00060	NE	Study01_00043	Study01_00043	ANO
Study01_00010	Study01_00014	NE	Study01_00044	Study01_00044	ANO
Study01_00011	Study01_00011	ANO	Study01_00045	Study01_00045	ANO
Study01_00012	Study01_00012	ANO	Study01_00046	Study01_00046	ANO
Study01_00013	Study01_00013	ANO	Study01_00047	Study01_00006	NE
Study01_00014	Study01_00014	ANO	Study01_00048	Study01_00010	NE
Study01_00015	Study01_00015	ANO	Study01_00049	Study01_00057	NE
Study01_00016	Study01_00010	NE	Study01_00050	Study01_00010	NE
Study01_00017	Study01_00048	NE	Study01_00051	Study01_00054	NE
Study01_00019	Study01_00019	ANO	Study01_00052	Study01_00052	ANO
Study01_00020	Study01_00020	ANO	Study01_00053	Study01_00053	ANO
Study01_00021	Study01_00014	NE	Study01_00054	Study01_00019	NE
Study01_00022	Study01_00022	ANO	Study01_00055	Study01_00055	ANO
Study01_00023	Study01_00051	NE	Study01_00056	Study01_00056	ANO
Study01_00024	Study01_00024	ANO	Study01_00057	Study01_00057	ANO
Study01_00025	Study01_00051	NE	Study01_00058	Study01_00057	NE
Study01_00026	Study01_00026	ANO	Study01_00059	Study01_00024	NE
Study01_00027	Study01_00058	NE	Study01_00060	Study01_00060	ANO
Study01_00028	Study01_00028	ANO	Study01_00061	Study01_00036	NE
Study01_00029	Study01_00029	ANO	Study01_00062	Study01_00067	NE
Study01_00030	Study01_00067	NE	Study01_00063	Study01_00063	ANO
Study01_00031	Study01_00016	NE	Study01_00064	Study01_00051	NE
Study01_00032	Study01_00032	ANO	Study01_00065	Study01_00065	ANO
Study01_00033	Study01_00033	ANO	Study01_00066	Study01_00066	ANO
Study01_00034	Study01_00034	ANO	Study01_00067	Study01_00067	ANO

Pro názornost bude prezentován příklad shodných snímků a snímků neshodných.



obr 30. Příklad správného přiřazení snímků od stejného pacienta (Study01_00001)



obr 31. K referenčnímu pacientovi (Study01_00002) byl přiřazen pacient (Study01_00067)

Špatné přiřazení hledaných snímků ke snímkům referenčním mohlo být způsobeno několika různými faktory. Prvním z nich je určitě špatná segmentace cév z šedotónového snímku. Během segmentace zaniklo větší množství cév, nebo naopak vlivem artefaktů byly cévy znehodnoceny.

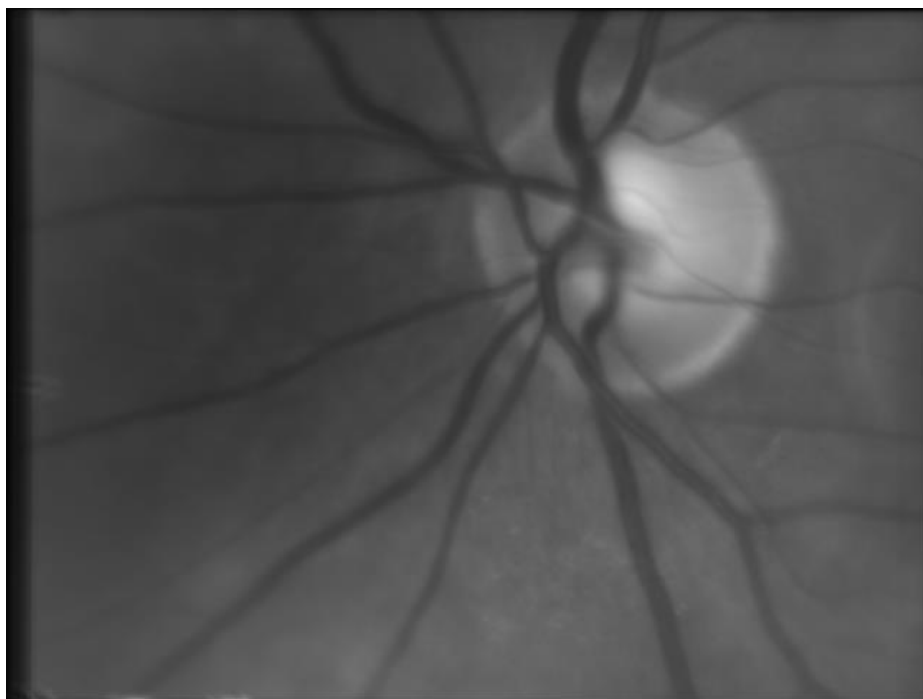
Dalším z možných faktorů, které ovlivnily kvalitu výsledků, byla funkce *posun* a *posuninv*. Během této funkce se postupně obrázek zmenšoval a hledala se co nejlepší procentuální shoda. U některých obrázků velmi pravděpodobně byla nalezena větší shoda na menším prostoru, než u obrázků, které k sobě skutečně patřily. Tato chyba by se mohla dát napravit lepší optimalizací algoritmu, kdy by se hledala možná shoda na větších úsecích, jelikož původní obrázek již jednou oříznutý byl, je ztracen další úsek nesoucí informace. Potom by ovšem nemusela být nalezena shoda u více znehodnocených, popřípadě nevycentrovaných obrázků.

V neposlední řadě je nutné uvažovat krok posunutí v těchto funkcích celkem o tři pixely v každém kroku. Vzhledem k časové náročnosti programu byl zvolen

tento krok, přesněji by program samozřejmě fungoval pro posouvání o dva nebo i jeden pixel.

4.4 Aplikace metody na šedotónové snímky

Tato práce se zabývá biometrií oční sítnice ze snímků pořízených video oftalmoskopickou kamerou. Video pořízené snímáním touto kamerou jsou v barvách odstínů šedi. Pokud by nebylo nezbytné pokaždé pořízené snímky převádět na černobílý a segmentovat cévy, bylo by možné pracovat s šedotónovými snímky. Nyní bude Metoda překrytí a posunu aplikována tedy přímo na šedotónové snímky. V programové části to znamená jen několik málo změn, ale princip metody zůstane nezměněn.



obr 32. Originální snímek oční sítnice

Jednou ze změn pak bude vynechání funkce *SmallOut*, jelikož některé její části fungují pouze pro černobílý obraz. Pro účely této práce by tedy bylo bezpředmětné jej převádět.

Za účelem zvýraznění podstatných částí obrazu byla použita metoda adaptivní ekvalizace histogramu. Po ekvalizaci jsou patrnější cévy na sítnici a je tedy i větší pravděpodobnost, že bude nalezena lepší shoda.

Poslední úpravou programu bude přímo odečet hodnot všech pixelů, jelikož v obrazu již cévy nemají pouze bílou barvu, nelze dále hledat jenom indexy cév, které byly odečítány. Tím ovšem narůstá i pravděpodobnost chyby v systému, protože

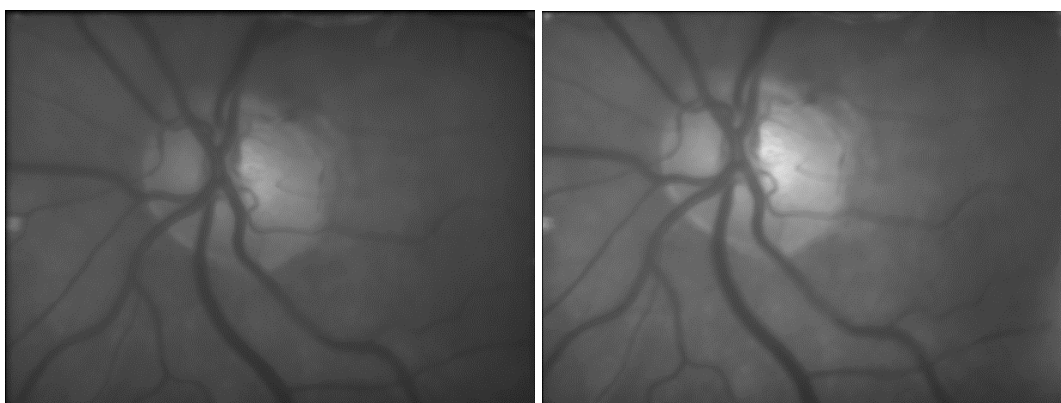
každý snímek má jinou hladinu kontrastu. Minimální hodnota rozdílu obou snímků by měla určit správný snímek.

Po odzkoušení metody s užitím šedých snímků byl ovšem správně detekován pouze jediný snímek, s hodnotou kritéria 4, zatímco všech ostatních 65 bylo přiřazeno k jinému snímku. U těchto snímků se hodnota kritéria pohybovala v rozmezí jednotek až deseti tisíců. Takto vysokých hodnot bylo dosaženo, protože pixely snímků již nenabývaly hodnot od nuly do jedné, ale byly v rozmezí 0-255. Navíc byly od sebe odečteny všechny pixely snímku, protože zde nebylo možné barevně odlišit pouze cévní řečiště. To způsobilo velké zkreslení výsledků.

$$eff = \frac{1}{1 + 65} \cdot 100 = 1,51 \%$$

Rovnice 3: Výpočet přesnosti metody pro šedotónové snímky

Úspěšnost této metody tedy klesla na pouhých 1,51 %.



obr 33. Jediná správně nalezená shoda (Study01_00006)

Z tohoto výsledku je tedy naprosto zřejmé, že se metoda pro šedotónové snímky nedá použít a snímky musejí být převedeny na černobílé.

Jednou z možností, jak by metoda mohla dosáhnout vyšší přesnosti pro šedotónový obraz, by mohlo být zkoumání pouze optického disku, jelikož je zde nejlepší kontrast a zbytek obrazu, včetně artefaktů a nepotřebných úseků, nebude zkreslovat výsledky.

5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zaměřila na vývoj biometrické metody identifikace a verifikace osoby na základě srovnání její oční sítnice – unikátnosti cévního řečiště každého jedince jsou podstatou této metody.

Základní snahou bylo navržení a vypracování metody pro zpracování databáze snímků, z nichž bylo možné s co nejvyšší přesností vybrat snímek shodný se snímkem referenčním.

V této práci byla využita sada snímků oční sítnice získaných použitím video oftalmoskopu a z nich vytvořená sada černobílých snímků segmentovaných cév. Obě sady snímků, šedotónová i černobílá, byly dodány doc. Ing. Radimem Kolářem, Ph.D. Požadovaným výsledkem bylo nalezení, co nejvíce shodného snímku se snímkem referenčním.

Prvně byla navržena a vypracována metoda pro biometrii na černobílých snímcích segmentovaných cév. Metoda byla nazvána *Metoda překrytí a posunu*. Postupnou optimalizací metody bylo dosaženo 62% úspěšnosti, která by pravděpodobně mohla být i vyšší, pokud by byly změněny některé parametry v programu. S ohledem na rychlost zpracování je však tento výsledek uspokojivý. Zvýšení spolehlivosti programu by mohlo nastat úpravou některých parametrů zpracování.

Vyšší přesnost programu by mohlo zajistit snížení kroku posunu při hledání ideálního překryvu. Tento krok byl odzkoušen pro posun o tři pixely, snížením kroku pro posun o jeden pixel by bylo s jistou pravděpodobností dosaženo lepšího výsledku. Pro tuto bakalářskou práci byl limitující časový průběh zpracování na počítači. Pro všech 66 snímků trvalo zpracování celkem 55 hodin. S nižším krokem by trvalo mnohem déle.

Velký podíl na chybovosti programu bude mít i postupné ořezávání snímků. Snímek byl nejprve oříznut o zanedbatelné okraje, kde nedošlo ke ztrátě důležitých informací, ale následně byl právě při posunu obrázků vůči sobě ořezáván o nepřekrývající se části. Zde již dochází ke ztrátě důležitých informací ve snaze nalézt shodu. Bylo by tedy zapotřebí odzkoušet pro každý snímek maximální možnou hodnotu posunu.

Dále byla přesnost zpracování ovlivněna nedokonalostí segmentovaných snímků cév na sítnici a obecně i artefakty, kdy byla ztracena určitá část podstatných informací.

Metoda byla nakonec odzkoušena na šedotónových snímcích, kdy došlo pouze k drobným úpravám programu. Jelikož byl určen pouze jediný snímek správně, je naprosto jasné, že metoda je pro šedotónové zpracování naprosto

nevhodná. Všechny snímky pořízené video oftalmoskopickou kamerou by tedy bylo nutné převádět na binární obrazy.

Na CD přiloženém k této práci se nachází program pro zpracování černobílých i šedotónových snímků, včetně obou databází snímků. V příloze této práce je přiložen návod na spuštění skriptů obou navržených a popsanych metod.

LITERATURA

- [1] BUJNOŠKOVÁ, Eva; *Využití snímků sítnice v biometrii*; VUT v Brně FEKT Ústav biomedicínského inženýrství, 2010, s. 56, vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radim Kolář, Ph.D.
- [2] DRAHANSKÝ, M., F. ORSÁG, a M. DOLEŽEL. *Biometrie*, Brno Computer Press, 2011, ISBN 978-80-254-8979-6
- [3] HARTLOVÁ, Marie; *Analýza cév optického disku v sérii snímků z experimentální fundus kamery*, VUT v Brně FEKT Ústav biomedicínského inženýrství, 2015. Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Odtrčilík, Ph.D.
- [4] HRAZDIRA, Ivo. MORNSTEIN, Vojtěch; *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Nakl. Neptun, 2006, ISBN 80-902896-1-4, s. 179-182.
- [5] KOLÁŘ, Radim. TORNOW, Ralf P., ODSTRČILÍK, Jan. LIBERDOVA, Ivana; *Registration of retinal sequences from new video-ophthalmoscopic camera*. BioMedical Engineering OnLine, 2016.
- [6] KUČHYNKA, Pavel; *Oční lékařství*, Grada publishing 2007, dostupné z: <<https://books.google.cz/books?id=MrJkMOqOrJMC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>>
- [7] NIXON, Mark; AGUADO, Alberto; *Feature Extraction and Image Processing*, 2.vyd., Academic press Elsevier Ltd., 2008, s 406, ISBN 978-0-1237-2538-7.
- [8] NOVOTNÁ, Božena; MAREŠ, Jaroslav; *Vývojová biologie pro mediky*, Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2005
- [9] Oční klinika Neovize, operace sítnice a sklivce. [cit. 2016-12-21], dostupné z: <<http://www.neovize.cz/lecba-onemocneni-sitnice-a-sklivce/sitnice-makula-sklivec/>>
- [10] ODSTRČILÍK, J.; KOLÁŘ, R.; HARABIŠ, V.; TORNOW, R. Classification- Based Blood Vessel Segmentation in Retinal Images. In *Computational Vision and Medical Image Processing V*. London, UK: CRC Press Taylor and Francis Group, 2015. s. 95-100. ISBN: 978-1-138-02926- 2
- [11] ONDRUŠEK, Roman; *Identifikační biometrické prostředky*, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2006, s. 77, vedoucí diplomové práce Ing. Mgr. Milan Kvasnica, CSc.
- [12] Policie ČR, dostupné z: <<http://www.policie.cz/clanek/celorepublikove-utvary-kriminalisticky-ustav-praha-zpravodajstvi-test-2.aspx>>
- [13] ZEMAN, Tomáš; *Aplikace biometrických systémů*, Bankovní institut vysoká škola Praha, 2009, vedoucí práce Mgr. Miroslav Široký, DiS.
- [14] 15.8 Histogram a ekvivalence, Odbor termomechaniky a techniky prostředí, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, dostupné z: <<http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/1508.htm>>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

DNA *Deoxyribonukleová kyselina*

PŘÍLOHA 1: OBSAH CD

1. Obsah složky pro zpracování černobílých snímků:

1. databáze černobílých snímků
2. *MainScript.m*
3. *CutEdges.m*
4. *SmallOut.m*
5. *Srovnani.m*
6. *Posun.m*
7. *Posuninv.m*

2. Obsah složky pro zpracování šedotónových snímků:

1. databáze šedotónových snímků
2. *MainGray.m*
3. *CutEdges.m*
4. *srovnani.m*
5. *posun.inv*
6. *posuninv.m*

3. Návod na použití programu

1. Zvolte ze dvou složek pro černobílé a šedotónové zpracování
2. V matlabu načtěte skript *MainScript.m*, popřípadě *MainGray.m*
3. Spustěte program a vyčkejte výsledku

PŘÍLOHA 2: TABULKA KRITÉRIÍ

Tabulka 2: Tabulka nalezených snímků s hodnotami jejich kritérií

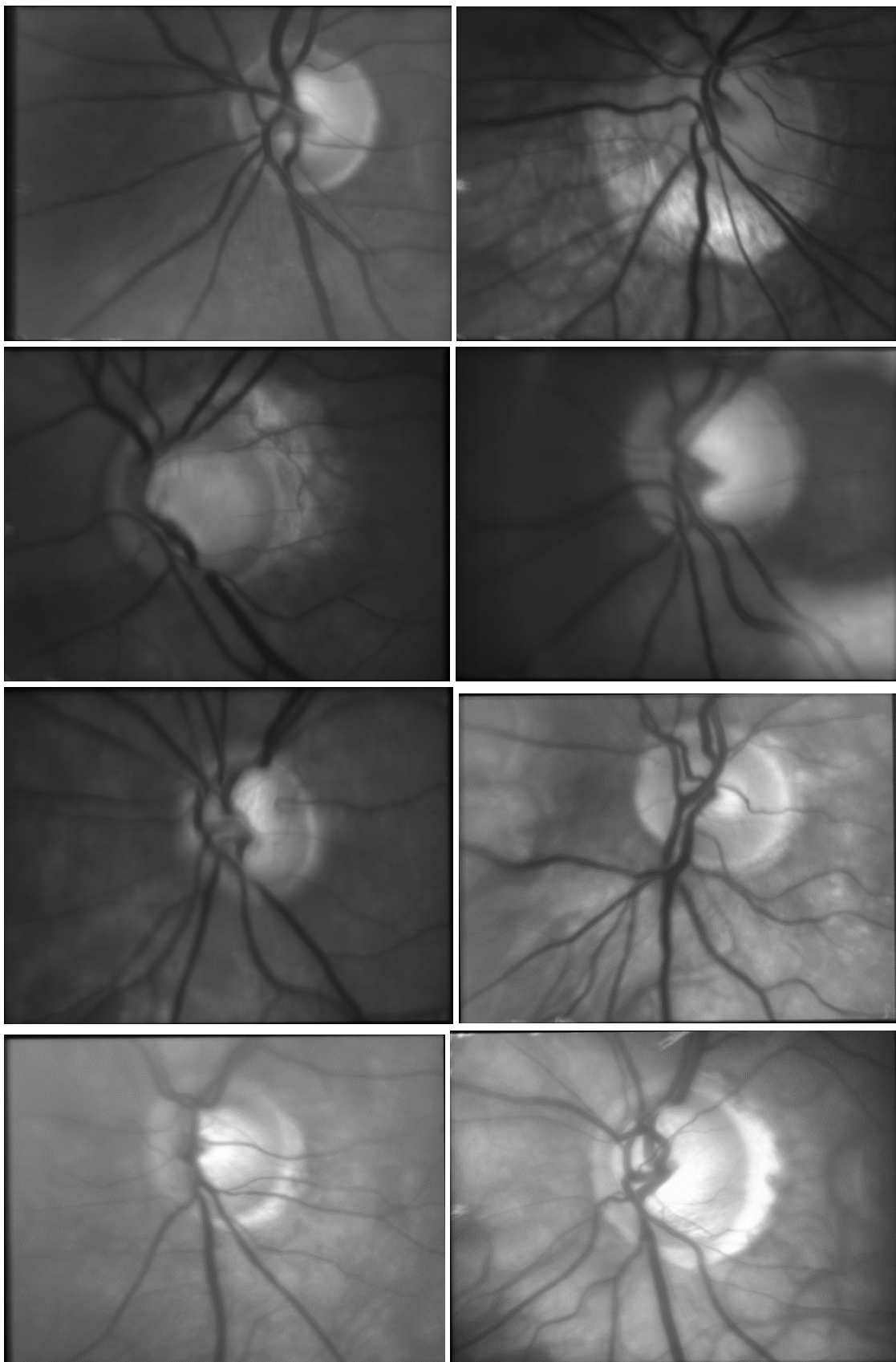
Pacient	Nalezený snímek	kritérium	Pacient	Nalezený snímek	shoda
Study01_00001	Study01_00001	0,1914	Study01_00035	Study01_00035	0,2906
Study01_00002	Study01_00067	0,3575	Study01_00036	Study01_00057	0,0588
Study01_00003	Study01_00003	0,3502	Study01_00037	Study01_00037	0,4813
Study01_00004	Study01_00004	0,2511	Study01_00038	Study01_00038	0,4088
Study01_00005	Study01_00005	0,3476	Study01_00039	Study01_00039	0,3146
Study01_00006	Study01_00006	0,2848	Study01_00040	Study01_00040	0,6712
Study01_00007	Study01_00024	0,4566	Study01_00041	Study01_00041	0,6488
Study01_00008	Study01_00008	0,2911	Study01_00042	Study01_00057	0,3333
Study01_00009	Study01_00060	0,0741	Study01_00043	Study01_00043	0,3367
Study01_00010	Study01_00014	0,4245	Study01_00044	Study01_00044	0,4404
Study01_00011	Study01_00011	0,3834	Study01_00045	Study01_00045	0,2362
Study01_00012	Study01_00012	0,3932	Study01_00046	Study01_00046	0,7034
Study01_00013	Study01_00013	0,4499	Study01_00047	Study01_00006	0,5475
Study01_00014	Study01_00014	0,2938	Study01_00048	Study01_00010	0,3975
Study01_00015	Study01_00015	0,4863	Study01_00049	Study01_00057	0,1579
Study01_00016	Study01_00010	0,3399	Study01_00050	Study01_00010	0,4881
Study01_00017	Study01_00048	0,6203	Study01_00051	Study01_00054	0,1000
Study01_00019	Study01_00019	0,2603	Study01_00052	Study01_00052	0,4640
Study01_00020	Study01_00020	0,4448	Study01_00053	Study01_00053	0,3779
Study01_00021	Study01_00014	0,4784	Study01_00054	Study01_00019	0,5969
Study01_00022	Study01_00022	0,4193	Study01_00055	Study01_00055	0,4095
Study01_00023	Study01_00051	0,2165	Study01_00056	Study01_00056	0,2426
Study01_00024	Study01_00024	0,2697	Study01_00057	Study01_00057	0,4012
Study01_00025	Study01_00051	0,4167	Study01_00058	Study01_00057	0,4167
Study01_00026	Study01_00026	0,1608	Study01_00059	Study01_00024	0,2589
Study01_00027	Study01_00058	0,4587	Study01_00060	Study01_00060	0,3310
Study01_00028	Study01_00028	0,6099	Study01_00061	Study01_00036	0,0964
Study01_00029	Study01_00029	0,2561	Study01_00062	Study01_00067	0,3488
Study01_00030	Study01_00067	0,1905	Study01_00063	Study01_00063	0,3111
Study01_00031	Study01_00016	0,3871	Study01_00064	Study01_00051	0,4615
Study01_00032	Study01_00032	0,3245	Study01_00065	Study01_00065	0,4107
Study01_00033	Study01_00033	0,3172	Study01_00066	Study01_00066	0,4899
Study01_00034	Study01_00034	0,5486	Study01_00067	Study01_00067	0,6774

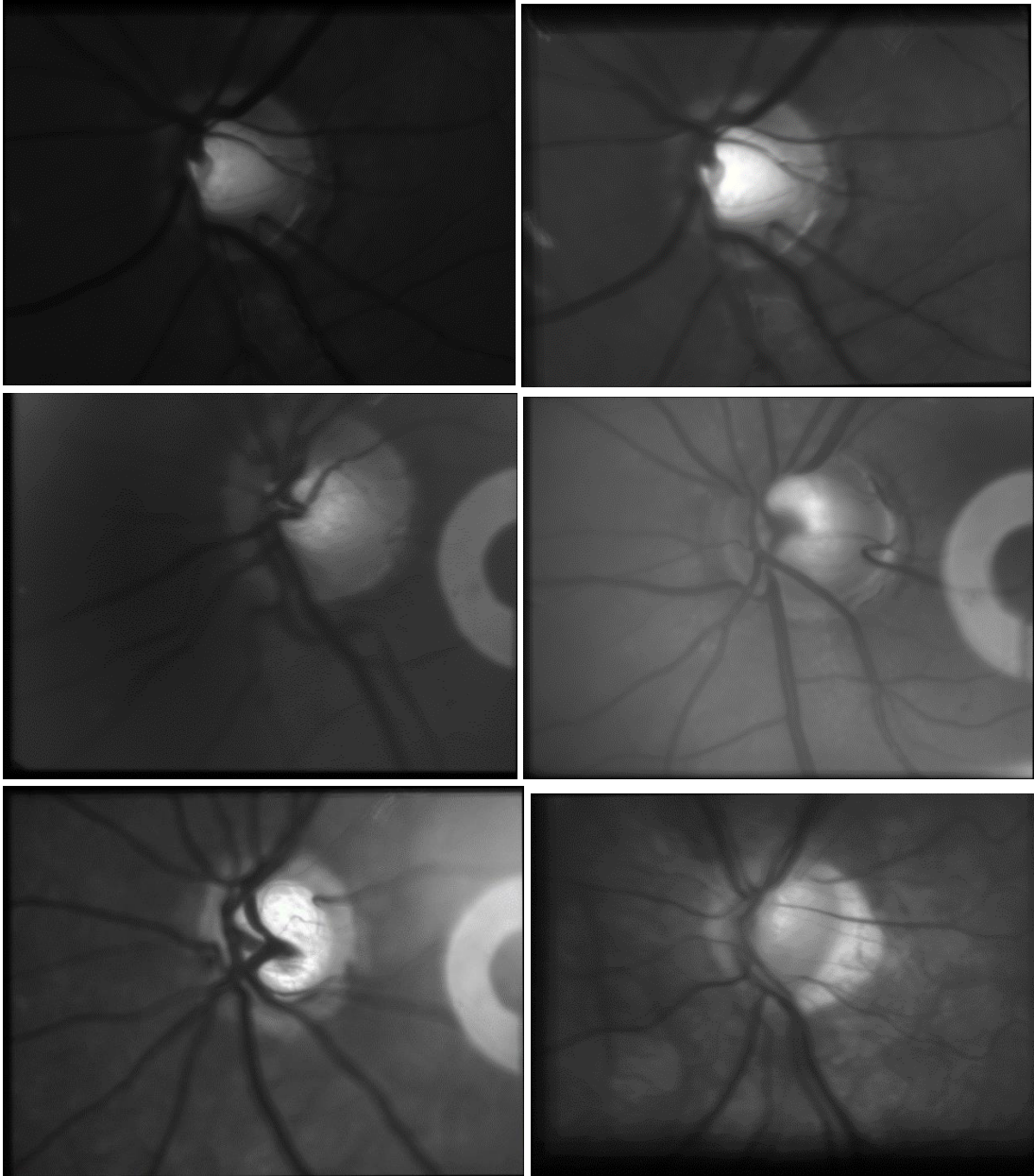
PŘÍLOHA 3: TABULKA KRITÉRIÍ 2

Tabulka 3: Tabulka hodnot kritérií shodných snímků

Pacient	Nejmenší hodnota kritéria	Nejmenší kritérium shodného snímku	Pacient	Nejmenší hodnota kritéria	Nejmenší kritérium shodného snímku
Study01_00001	0,1914	0,1914	Study01_00035	0,0588	0,2443
Study01_00002	0,3575	0,4893	Study01_00036	0,4813	0,4813
Study01_00003	0,3502	0,3502	Study01_00037	0,4088	0,4088
Study01_00004	0,2511	0,2511	Study01_00038	0,3146	0,3146
Study01_00005	0,3476	0,3476	Study01_00039	0,6712	0,6712
Study01_00006	0,2848	0,2848	Study01_00040	0,6488	0,6488
Study01_00007	0,4566	0,6710	Study01_00041	0,3333	0,6543
Study01_00008	0,2911	0,2911	Study01_00042	0,3367	0,3367
Study01_00009	0,0741	0,3283	Study01_00043	0,4404	0,4404
Study01_00010	0,4245	0,5760	Study01_00044	0,2362	0,2362
Study01_00011	0,3834	0,3834	Study01_00045	0,7034	0,7034
Study01_00012	0,3932	0,3932	Study01_00046	0,5475	0,6198
Study01_00013	0,4499	0,4499	Study01_00047	0,3975	0,5093
Study01_00014	0,2938	0,2938	Study01_00048	0,1579	0,2865
Study01_00015	0,4863	0,4863	Study01_00049	0,4881	0,5612
Study01_00016	0,3399	0,4135	Study01_00050	0,1000	0,5705
Study01_00017	0,6203	0,7760	Study01_00051	0,464	0,064
Study01_00019	0,2603	0,2603	Study01_00052	0,3779	0,3779
Study01_00020	0,4448	0,4448	Study01_00053	0,5969	0,6940
Study01_00021	0,4784	0,5373	Study01_00054	0,4095	0,4095
Study01_00022	0,4193	0,4193	Study01_00055	0,2426	0,2426
Study01_00023	0,2165	0,2832	Study01_00056	0,4012	0,4012
Study01_00024	0,2697	0,2697	Study01_00057	0,4167	0,4983
Study01_00025	0,4167	0,4969	Study01_00058	0,2589	0,4291
Study01_00026	0,1608	0,1608	Study01_00059	0,3310	0,3310
Study01_00027	0,4587	0,5269	Study01_00060	0,0964	0,7142
Study01_00028	0,6099	0,6099	Study01_00061	0,3488	0,5860
Study01_00029	0,2561	0,2561	Study01_00062	0,3111	0,3111
Study01_00030	0,1905	0,3094	Study01_00063	0,4615	0,5878
Study01_00031	0,3871	0,5297	Study01_00064	0,4107	0,4107
Study01_00032	0,3245	0,3245	Study01_00065	0,4899	0,4899
Study01_00033	0,3172	0,3172	Study01_00066	0,6774	0,6774
Study01_00034	0,5486	0,5486	Study01_00067	0,0588	0,2443

PŘÍLOHA 4: ŠEDOTÓNOVÉ SNÍMKY





PŘÍLOHA 5: ČERNOBÍLÉ SNÍMKY

